

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Stjepan Maderić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Darko Kozarac, dipl. ing.

Student:

Stjepan Maderić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru Prof. Dr. sc. Darku Kozarcu, asistentima Anti Vučetiću, dipl. ing. i Mladenu Božiću, mag. ing. na velikoj pomoći pri izradi završnog rada.

Uz to posebno se zahvaljujem svojoj obitelji koja mi je omogućila studiranje i pružala mi veliku podršku cijelo vrijeme.

Stjepan Maderić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Stjepan Maderić**

Mat. br.: 0035187210

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Karakterizacija rada brizgaljke Ottovog motora**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Characterization of Port Fuel Injector**

Opis zadatka:

Rad Ottovog motora s unutarnjim izgaranjem značajno ovisi o bogatstvu smjese goriva i zraka. Suvremeni Ottovi motori u najvećoj mjeri gorivo u smjesu dodaju ubrizgavanjem u usisnu cijev pri čemu je brizgaljka upravljana elektromagnetskim ventilom. Masa ubrizganog goriva kontrolira se duljinom ubrizgavanja. S obzirom da se tlak u sustavu dovoda goriva mijenja, a i da se tlak u usisnoj cijevi mijenja razlika tlaka na brizgaljci u radu se mijenja. U Laboratoriju za motore i vozila postoji ekseprimentalni postav koji koristi ubrizgavanje goriva u usisnu cijev, a kojemu je potrebno odrediti značajke rada brizgaljke. Značajke rada brizgaljke sastojat će se od tablica masenog protoka goriva u ovisnosti o svim relevantnim veličinama (razlika tlaka, vrsta goriva, duljina otvorenosti brizgaljke). Pored toga potrebno je odrediti najmanje vrijeme odziva brizgaljke, te najmanje vrijeme unutar kojeg brizgaljka ima linearnu karakteristiku. Karakterizacija rada brizgaljke provest će se ispitivanjima u Laboratoriju za motore i vozila. Pored toga temeljem rezultata ispitivanja potrebno je odrediti regresijsku funkciju koja se može ugraditi u program koji upravlja radom motora, a kojom se na temelju ulaznih parametara određuje duljina otvorenosti brizgaljke. U radu je potrebno

1. Analizirati sustave ubrizgavanja Ottovih motora.
2. Analizirati sustav ubrizgavanja u Laboratoriju za motore i vozila.
3. Opisati mjernu liniju za ispitivanje karakteristike brizgaljke.
4. Provesti mjerenja za dvije brizgaljke i dva goriva.
5. Temeljem rezultata izraditi regresijske funkcije svake brizgaljke. Regresijska funkcija izračunat će duljinu otvorenosti brizgaljke uz zadani maseni protok, razliku tlaka i vrstu goriva.
6. Prikazati rezultate i izvesti zaključke.

Pri izradi se treba pridržavati pravila za izradu završnog rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.

3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.

2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.

3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Darko Kozarac

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD.....	1
2. ANALIZA SUSTAVA UBRIZGAVANJA OTTOVIH MOTORA	2
2.1. Centralno ubrizgavanje	3
2.2. Pojedinačno ubrizgavanje u usisnu cijev svakog cilindra.....	4
2.3. Izravno ubrizgavanje u cilindar	5
3. ANALIZA SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE U LABORATORIJU ZA MOTORE I VOZILA	7
4. OPIS MJERNE LINIJE ZA ISPITIVANJE BRIZGALJKE I POSTUPAK MJERENJA ..	9
5. PRIKAZ REZULTATA	12
5.1. Rezultati mjerenja dobiveni korištenjem benzina kao goriva	12
5.2. Rezultati mjerenja dobiveni korištenjem etanola kao goriva.....	30
5.3. Usporedba korištenja različitih goriva	46
6. ZAKLJUČAK.....	49
LITERATURA.....	50
PRILOZI.....	51

POPIS SLIKA

Slika 1.	Usporedba motora s rasplinjačem i ubrizgavanjem goriva [2].....	2
Slika 2.	Centralno ubrizgavanje goriva [2].....	3
Slika 3.	Bosch Mono-Jetronic [4].....	4
Slika 4.	Pojedinačno ubrizgavanje u usisnu granu svakog cilindra [2].	4
Slika 5.	Presjek motora s izravnim ubrizgavanjem [2].....	6
Slika 6.	Spremnik goriva	7
Slika 7.	Elektromagnetska brizgaljka [6].	7
Slika 8.	Senzor položaja koljenastog vratila.....	8
Slika 9.	Mjerna menzura.....	9
Slika 10.	Precizna digitalna vaga [7].	9
Slika 11.	Mjerenje gustoće benzina	10
Slika 12.	Mjerenje količine ubrizganog goriva	11
Slika 13.	3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin	14
Slika 14.	Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin	15
Slika 15.	Funkcija $a=f(p)$ -FlexFuel-benzin	16
Slika 16.	Funkcija $b=f(p)$ -FlexFuel-benzin	16
Slika 17.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom- FlexFuel-benzin	17
Slika 18.	3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-benzin	18
Slika 19.	Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin	18
Slika 20.	Funkcija $c=f(p)$ -FlexFuel-benzin	19
Slika 21.	Funkcija $d=f(p)$ -FlexFuel-benzin	20
Slika 22.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-benzin	21
Slika 23.	3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-benzin	23
Slika 24.	Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-benzin	24
Slika 25.	Funkcija $a=f(p)$ -Bosch-benzin	25
Slika 26.	Funkcija $b=f(p)$ -Bosch-benzin	25
Slika 27.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom- Bosch-benzin	26
Slika 28.	3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-benzin	26
Slika 29.	Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-benzin	27
Slika 30.	Funkcija $c=f(p)$ -Bosch-benzin	28
Slika 31.	Funkcija $d=f(p)$ -Bosch-benzin	28
Slika 32.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-benzin	29
Slika 33.	Masena usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-benzin	29

Slika 34.	Volumenska usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-benzin	30
Slika 35.	3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-etanol	32
Slika 36.	Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-etanol	32
Slika 37.	Funkcija $a=f(p)$ -FlexFuel-etanol	33
Slika 38.	Funkcija $b=f(p)$ -FlexFuel-etanol	33
Slika 39.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom- FlexFuel-etanol	34
Slika 40.	3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-etanol	35
Slika 41.	Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-etanol	35
Slika 42.	Funkcija $c=f(p)$ -FlexFuel-etanol	36
Slika 43.	Funkcija $d=f(p)$ -FlexFuel-etanol	36
Slika 44.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-etanol	37
Slika 45.	3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-etanol	39
Slika 46.	Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-etanol	40
Slika 47.	Funkcija $a=f(p)$ -Bosch-etanol	41
Slika 48.	Funkcija $b=f(p)$ -Bosch-etanol	41
Slika 49.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom- Bosch-etanol	42
Slika 50.	3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-etanol	42
Slika 51.	Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-etanol	43
Slika 52.	Funkcija $c=f(p)$ -Bosch-etanol	44
Slika 53.	Funkcija $d=f(p)$ -Bosch-etanol	44
Slika 54.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-etanol	45
Slika 55.	Masena usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-etanol	45
Slika 56.	Volumenska usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-etanol	46
Slika 57.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-FlexFuel	46
Slika 58.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-FlexFuel	47
Slika 59.	Usporedba ovisnosti mase ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-Bosch	47
Slika 60.	Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-Bosch	48

POPIS TABLICA

Tablica 1.	Stanje atmosfere i gustoća goriva 1	12
Tablica 2.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bar-FlexFuel-benzin	13
Tablica 3.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bar-FlexFuel-benzin	13
Tablica 4.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bar-FlexFuel-benzin	13
Tablica 5.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bar-FlexFuel-benzin	14
Tablica 6.	Vrijednost koeficijenata mase-FlexFuel-benzin.....	16
Tablica 7.	Vrijednost koeficijenata volumena-FlexFuel-benzin	19
Tablica 8.	Stanje atmosfere i gustoća goriva 2.....	21
Tablica 9.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-Bosch-benzin.....	22
Tablica 10.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-Bosch-benzin.....	22
Tablica 11.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-Bosch-benzin.....	22
Tablica 12.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-Bosch-benzin.....	23
Tablica 13.	Vrijednost koeficijenata mase Bosch-benzin	24
Tablica 14.	Vrijednost koeficijenata volumena Bosch-benzin.....	27
Tablica 15.	Stanje atmosfere i gustoća goriva 3.....	30
Tablica 16.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-FlexFuel-etanol.....	31
Tablica 17.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-FlexFuel-etanol.....	31
Tablica 18.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-FlexFuel-etanol.....	31
Tablica 19.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-FlexFuel-etanol.....	31
Tablica 20.	Vrijednost koeficijenata mase FlexFuel-etanol.....	33
Tablica 21.	Vrijednosti koeficijenata volumena FlexFuel-etanol	36
Tablica 22.	Stanje atmosfere i gustoća goriva 4.....	38
Tablica 23.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-Bosch-etanol.....	38
Tablica 24.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-Bosch-etanol.....	38
Tablica 25.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-Bosch-etanol.....	39
Tablica 26.	Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-Bosch-etanol.....	39
Tablica 27.	Vrijednosti koeficijenata mase Bosch-etanol	40
Tablica 28.	Vrijednosti koeficijenata volumena Bosch-etanol	43

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
m	g	masa
p	bar	tlak
t	s	trajanje ubrizgavanja
V	ml	volumen
f	-	funkcija
a	-	koeficijent smjera funkcije mase
b	-	odsječak funkcije mase na osi y
c	-	koeficijent smjera funkcije volumena
d	-	odsječak funkcije volumena na osi y

SAŽETAK

Suvremeni Otto motori gorivo u smjesu najčešće dodaju ubrizgavanjem u usisnu cijev pri čemu je brizgaljka električno upravljana. U ovom radu analizirani su sustavi za ubrizgavanje i napravljena je karakterizacija brizgaljki. Karakterizacija je rađena mjerenjem mase i volumena goriva koje brizgaljka ubrizga pri određenom tlaku i duljini trajanja otvorenosti. Mjerenje je provedeno na ispitnoj liniji u Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, za dvije brizgaljke s dva goriva. Dobiveni rezultati su prikazani u tablicama te su na temelju njih izrađene regresijske funkcije koje pomoću podataka o tlaku i duljini trajanja otvorenosti brizgaljke izračunavaju količinu ubrizganog goriva. Dijagramima su prikazane usporedbe mase i volumena ubrizganog goriva za različite brizgaljke i različita goriva, te usporedbe karakteristika brizgaljki dobivene mjerenjima i funkcijama. Dobivene se funkcije mogu ugraditi u program koji upravlja radom motora.

Ključne riječi: Otto motor, brizgaljka, regresijske funkcije

SUMMARY

The modern Otto internal combustion engine usually add fuel into the mixture injecting it into the intake pipe where the injector is electrically driven. In this work, the injection systems were analyzed and characterization of injectors was made. Characterization was made by measuring mass and volume of fuel injected by the injector at a given pressure in the system and the length of openness. The measurement was carried out at the test line in the Laboratory for engines and vehicles of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb, for two injectors with two fuels. The results are shown in the tables and based on them regression functions were made which using the data of the pressure and length of openness of the injector calculate amount of injected fuel. Diagrams show comparison of the mass and volume of injected fuel for different injectors and different fuels, and comparing the characteristics of injectors obtained by measurements and functions. The obtained functions can be incorporated into a program that controls the operation of the engine.

Keywords: Otto internal combustion engine, the injector, the regression functions

1. UVOD

Tema ovog završnog rada je karakterizacija rada brizgaljke Ottovog motora. Ubrizgavanje goriva kod Ottovih motora u širu primjenu ušlo je tek krajem 20. stoljeća zbog skupih komponenata za ubrizgavanje. Glavna prednost tog sustava je mogućnost upravljanja količinom ubrizganog goriva u svim režimima rada motora što je neophodno da bi bilo moguće ispoštovati nove zakonske regulative o dopuštenoj količini štetnih tvari u ispušnim plinovima. Osnovni dijelovi tog sustava su pumpa, razvodnici i brizgaljke koje mogu biti mehaničko-hidraulične i elektromagnetske. Elektromagnetske brizgaljke su električno upravljanje putem upravljačke jedinice koja na temelju potrebne količine goriva za pravilan rad motora određuje duljinu otvorenosti brizgaljke te tako regulira količinu ubrizgavanog goriva.

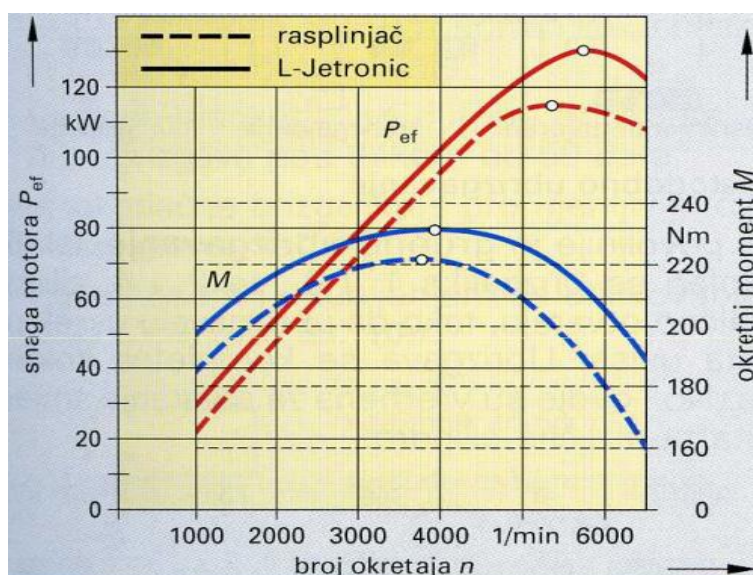
Cilj ovog završnog rada je na temelju provedenih ispitivanja brizgaljki odrediti regresijske funkcije koje uz podatke o tlaku u sustavu i duljini trajanja ubrizgavanja izračunavaju masu i volumen ubrizganog goriva.

Zamišljeno je da se ispitivanje provede tako da se u Laboratoriju za motore i vozila napravi mjerna linija pomoću koje će se mjeriti masa i volumen ubrizganog goriva pri različitim tlakovima i trajanjima otvorenosti brizgaljke.

Rad se sastoji od tri osnovna dijela, analize sustava ubrizgavanja, provođenja potrebnih mjerenja te izrade regresijskih funkcija.

2. ANALIZA SUSTAVA UBRIZGAVANJA OTTOVIH MOTORA

Kod Otto motora starije generacije smjesa goriva i zraka pripremala se usisavanjem goriva u struju zraka u rasplinjaču. Veliki nedostatak klasičnog rasplinjača bila je nemogućnost održavanja optimalne smjese u cijelom radnom području motora što je posebno došlo do izražaja povećanjem zahtjeva za smanjenjem količine štetnih tvari u ispušnim plinovima. Nedovoljna raširenost ubrizgavanja sve do samog kraja dvadesetog stoljeća uvjetovana je skupim komponentama sustava za ubrizgavanje (pumpe, razvodnici i brizgaljke). Osnovna prednost sustava za ubrizgavanje goriva pred klasičnim rasplinjačima je mogućnost regulacije količine ubrizganog goriva u svim režimima rada motora te fino raspršivanje goriva u struji zraka, a samim time i bolje mješanje i bolje izgaranje. Rezultat toga je povećanje snage motora i okretnog momenta za 15 do 20 % (slika 1) [1].



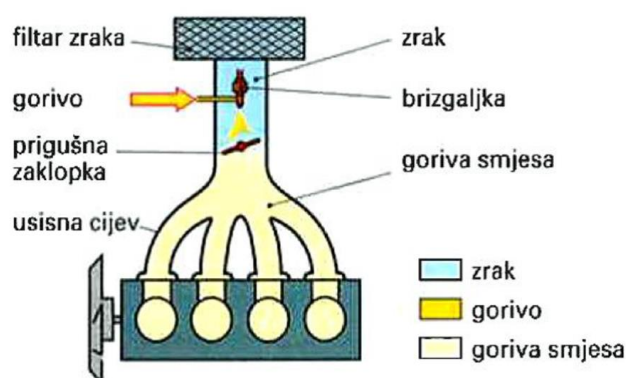
Slika 1. Usporedba motora s rasplinjačem i ubrizgavanjem goriva [2].

Razlikujemo nekoliko načina ubrizgavanja kod Otto motora:

- Centralno ubrizgavanje (Single point injection)
- Pojedinačno ubrizgavanje u usisnu cijev svakog cilindra (Multi point injection)
- Izravno ubrizgavanje u cilindar

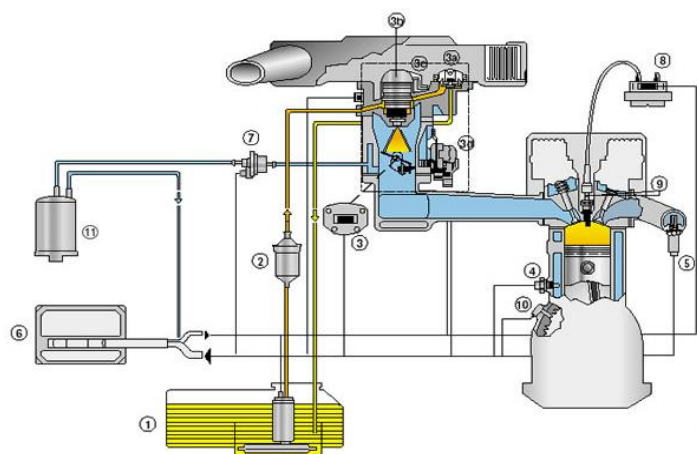
2.1. Centralno ubrizgavanje

Jednostavniji sustavi za ubrizgavanje imaju jednu brizgaljku smještenu u usisnom kanalu ispred zaklopke koja ubrizgava gorivo pod tlakom u struju usisanog zraka (slika 2). Nedostatci ovog sustava, kao i kod klasičnog rasplinjača, dugi su i nejednaki putovi goriva do pojedinih cilindara, što za posljedicu ima nejednoliko punjenje cilindara i lijepljenje goriva po stijenkama usisnih kanala. To uzrokuje veću potrošnju goriva, odnosno manju snagu motora. Prednost ovog sustava je, osim već spomenutih prednosti nad klasičnim rasplinjačima, jednostavna izvedba i niža cijena u odnosu na ostale sustave ubrizgavanja [1].



Slika 2. Centralno ubrizgavanje goriva [2].

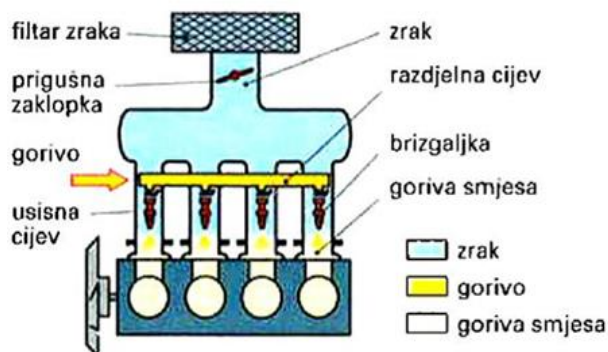
Najpoznatiji ovakav sustav je Boschov Mono-Jetronic kod kojeg je miješanje smjese jednako kao kod sustava s klasičnim rasplinjačem, ali se ubrizgavanje vrši pri pretlaku od oko 1 bar u usisani zrak neposredno prije zaklopke te smjesa tada struji k svakome cilindru (slika 3). Električno pogonjena pumpa usisava benzin iz spremnika i tlači ga kroz filter prema uređaju za ubrizgavanje. Na tom uređaju se nalazi regulator tlaka koji održava pretlak goriva od 1 bar, a prekomjernu količinu vraća u spremnik. Elektromagnetska brizgaljka ubrizgava gorivo u trenutku otvaranja usisnih ventila, u pravcu zaklopke. Masa pokretnih dijelova brizgaljke je mala pa je brzina i točnost njezina otvaranja dobra. Vrijeme ubrizgavanja traje od 1,5 do 6 ms. Kod određivanja potrebne količine goriva upravljačka jedinica obrađuje podatke o trenutnom stanju motora te ovisno o položaju zaklopke, brzini vrtnje, opterećenju motora i masenom protoku zraka izračunava osnovno vrijeme ubrizgavanja. Ono se još po potrebi korigira podacima o temperaturi zraka, temperaturi motora i podacima lambda sonde [3].



Slika 3. Bosch Mono-Jetronic [4].

2.2. Pojedinačno ubrizgavanje u usisnu cijev svakog cilindra

Pojedinačno ubrizgavanje u struju zraka nema nedostataka centralnog ubrizgavanja (slika 4). Svaki cilindar ima svoju brizgaljku, a ubrizgavanje goriva se obavlja hidrauličnim načinom ili električno. Različiti proizvođači uređaja za pripremu gorive smjese imaju različita konstrukcijska rješenja, ali u osnovi funkcioniraju na jednak način [1].



Slika 4. Pojedinačno ubrizgavanje u usisnu granu svakog cilindra [2].

Ovi se sustavi mogu razlikovati po načinu ubrizgavanja. Kod istodobnog ubrizgavanja sve se brizgaljke istodobno otvaraju bez obzira na odvijanje taktova u pojedinim cilindrima pa su i vremena za stvaranje gorive smjese vrlo različita. Kako bi se stvorila smjesa podjednake kvalitete, ukupna količina goriva ubrizgava se u dva navrata. Nešto povoljnije je grupno ubrizgavanje kod kojeg se brizgaljke 1. i 3., te 2. i 4. cilindra izmjenično otvaraju, tako da ubrizgavaju uvijek prije takta usisa, no i ovdje su vremena za stvaranje smjese različita za različite cilindre. Kod slijednog ubrizgavanja svaka se brizgaljka aktivira neposredno prije

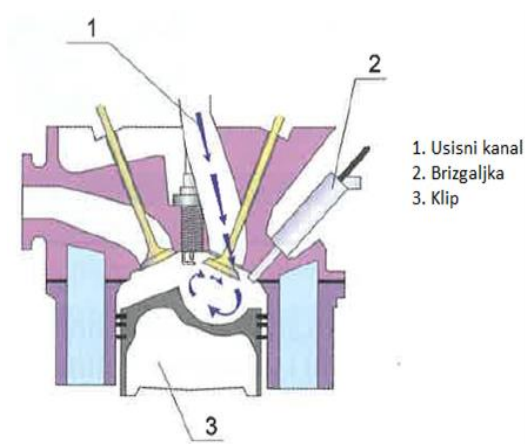
početka takta usisa za svaki cilindar i tada se ubrizgava ukupna količina goriva. Na ovaj način dobiva se optimalna smjesa za sve cilindre i bolje unutarnje hlađenje cilindra [2].

Bosch je razvio nekoliko ovakvih sustava koji se najviše razlikuju u načinu ubrizgavanja i upravljanju ubrizgavanjem. Najjednostavniji je K-Jetronic, mehaničko-hidraulični sustav s mjerenjem količine usisanog zraka. Kod njega osjetnik protoka zraka radi na načelu lebdećeg tijela te se podiže to više što je veće strujanje zraka, a njegov pomak se polugom prenosi na upravljački klip u razdjeljivaču goriva i tako izravno upravlja protokom goriva. Sustav ima manje nedostatke no velika prednost mu je niska cijena. Usavršena verzija tog sustava naziva se KE-Jetronic. Opremljen je dodatnim osjetilima za prikupljanje podataka o radu motora koji se obrađuju u elektroničkoj jedinici za upravljanje elektrohidrauličkim regulatorom tlaka koja na temelju tih podataka korigira količinu ubrizganog goriva. Prednost sustava je što može ovisno o brzini vrtnje i opterećenju motora potpuno prekinuti dovod goriva te brzo reagira na promjene u radu motora. U slučaju kvara na upravljačkoj jedinici može raditi poput osnovnog K-Jetronica. Za razliku od ovih sustava gdje brizgaljke neprekidno ubrizgavaju određenu količinu goriva, razvijen je L-Jetronic kod kojeg se ubrizgavanje odvija povremeno. Mjera za određivanje količine ubrizganog goriva je također količina usisanog zraka, a pripremom gorive smjese upravlja elektronička jedinica koja prima podatke od različitih senzora, obrađuje ih, uspoređuje sa zadanim podacima u memoriji i šalje izlazne signale. Ti signali određuju početak i kraj ubrizgavanja goriva, a šalju se svim brizgaljkama za svaki okretaj koljenastog vratila. Većina dijelova je ista kao kod prethodnih sustava, drugačije je samo mjerilo količine zraka i regulator tlaka goriva, te su hidraulične brizgaljke zamijenjene elektromagnetnima [3]. Postoji više izvedbi sustava, a razlikuju se u pristupu mjerenju količine zraka. Kod osnovnog sustava koristi se mjerilo sa zapornom i kompenzacijskom pločom ili ultrazvučno mjerilo. Mjerilo mase zraka s užarenom žicom ili sa zagrijanim filmom ugrađeno je u LH-Jetronic, dok LD-Jetronic koristi mjerilo tlaka u usisnoj grani [1].

2.3. Izravno ubrizgavanje u cilindar

Razvojem tehnologije, a prvenstveno elektronike i hidraulike, stvoreni su uvjeti da se izravno ubrizgavanje goriva u Ottov motor počne primjenjivati u serijskoj proizvodnji. Slično kao i kod ostalih sustava motor usisava zrak a upravljačka jedinica na temelju prikupljenih

podataka od različitih senzora određuje početak i kraj ubrizgavanja. Kod ovih motora razlikuju se dva režima rada, ekonomični i režim punog opterećenja. Od MPI motora ovi se motori razlikuju po položaju usisnih kanala, obliku čela klipa i brizgaljci (slika 5). Da bi se postiglo što bolje miješanje goriva i zraka usisni kanali postavljeni su gotovo okomito, a čelo klipa profilirano je tako da usmjeri zrak i rapršeno gorivo prema svjećici i tamo stvori smjesu pogodnu za paljenje. Oko te smjese stvara se sloj vrlo siromašne smjese koja slabo gori i koja služi kao toplinski izolator, što smanjuje toplinske gubitke motora i povećava stupanj iskorištenja. U ekonomičnom režimu rada ubrizgavanje započinje u taktu kompresije oko 90° koljenastog vratila, količina goriva je dostatna za normalan rad motora, a dobro mješanje goriva i zraka omogućuje stabilan rad motora s vrlo siromašnom smjesom. Kod punog opterećenja ubrizgavanje počinje u taktu usisa te gorivo svojim isparavanjem za vrijeme kompresije hladi zrak u cilindru tako da ne dolazi do samozapaljenja, a količina goriva je takva da se osigura stehiometrijski omjer. Posebnu ulogu u ovim motorima ima visokotlačna vrtložna brizgaljka koja raspršuje gorivo u fine kapljice i vrtložno ga usmjeruje u struju zraka [1]. Kod siromašne smjese redukcija Nox u ispušnim plinovima vrši se pomoću apsorpcijskog katalizatora kojega sumpor u gorivu uništava. Ako se kod ovih motora primjeni stehiometrijski omjer goriva i zraka, pročišćavanje ispušnih plinova moguće je pomoću uobičajenog trokomponentnog katalizatora [5]. Prema klasičnim motorima ovi motori imaju približno 30% manju potrošnju goriva [1].



Slika 5. Presjek motora s izravnim ubrizgavanjem [2].

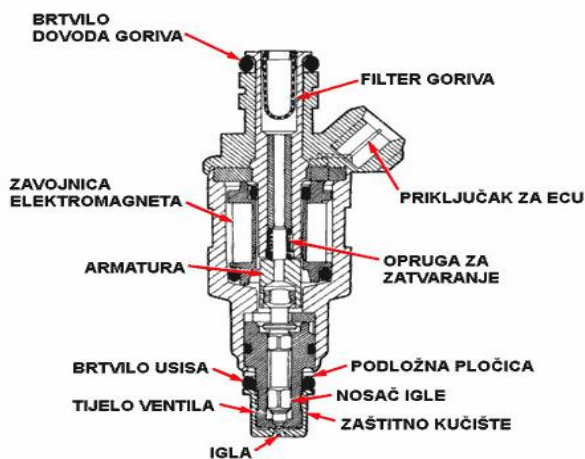
3. ANALIZA SUSTAVA ZA UBRIZGAVANJE U LABORATORIJU ZA MOTORE I VOZILA

U Laboratoriju za motore i vozila nalazi se jednocilindrični četverotaktni HCCI (Homogeneous charge compression ignition) motor sa sustavom za ubrizgavanje goriva u usisnu cijev. Sustav se sastoji od spremnika goriva koji je spojen na bocu tlaka pomoću koje se u spremniku i cijelom sustavu održava zadani tlak (slika 6).



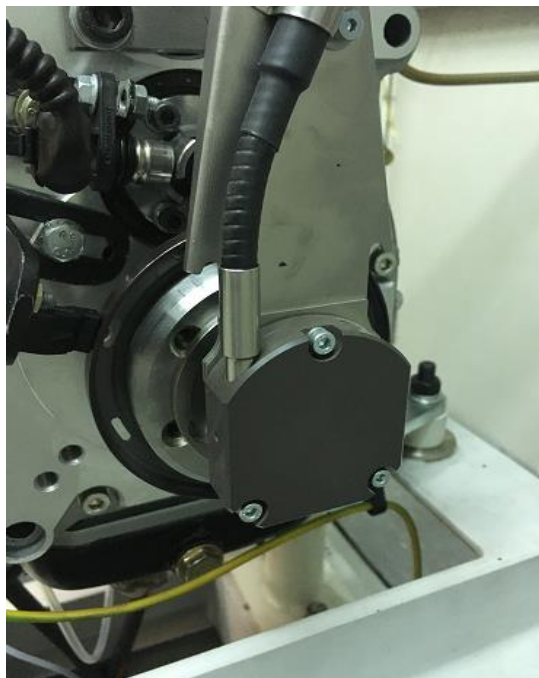
Slika 6. Spremnik goriva

Gorivo se iz spremnika crijevima dovodi do elektromagnetske brizgaljke koja je smještena na usisnoj grani motora (slika 7). Brizgaljka radi kao ventil koji se na temelju ulaznog signala otvara ili zatvara. Ulazni signal je zapravo električna struja čijim prolaskom kroz namotaj nastaje elektromagnetsko polje koje podiže kotvu, a s njom i iglu čiji je vrh oblikovan tako da se mlaz goriva fino rasprši. Prestankom prolaza struje, opruga spušta iglu i brizgaljka se zatvara.



Slika 7. Elektromagnetska brizgaljka [6].

Brizgaljka upravljačke signale dobiva od upravljačke jedinice koja je razvijena kao softver za upravljanje radom ispitnog motora. Brizgaljkom se može upravljati tako da se u računalo upišu željeni podaci, a za vrijeme rada motora upravljačka jedinica pomoću senzora dobiva podatke o radu motora na temelju kojih tad brizgaljci šalje upravljački signal. Na motoru je smješten senzor položaja koljenastog vratila na temelju čijih podataka upravljačka jedinica odlučuje o trenutku slanja signala za otvaranje brizgaljke (slika 8). Ubrizgavanje je impulsno a količina ubrizganog goriva ovisi o trajanju signala odnosno otvorenosti brizgaljke. O trajanju ubrizgavanja upravljačka jedinica odlučuje na temelju podataka koje prima od lambda sonde smještene u ispušnoj grani motora. Radi se o uređaju ECM 5210 koji očitava količinu dušikovih oksida NO_x, količinu kisika i faktor pretička zraka λ . Radi se o uređaju visoke točnosti i brzog odziva tako da upravljačka jedinica može brzo reagirati te obogatiti ili osiromašiti smjesu ovisno o režimu rada motora.



Slika 8. Senzor položaja koljenastog vratila

4. OPIS MJERNE LINIJE ZA ISPITIVANJE BRIZGALJKE I POSTUPAK MJERENJA

Za mjernu liniju iskorišten je postojeći sustav ubrizgavanja u Laboratoriju za motore i vozila. Brizgaljka je skinuta s usisne grane motora i postavljena tako da ubrizgava gorivo u mjernu menzuru. Takva menzura ima najsitniju podjelu za očitavanje volumena od 5 ml što nam kod ubrizgavanja goriva nije dovoljno precizno obzirom da se brizgaljkom u svakom ciklusu ubrizga jako mala količina goriva (slika 9). Da bi ipak mogli mjeriti volumen ubrizganog goriva umjesto jednog ubrizgavanja, za svaku točku mjerenja uzet je veći broj ciklusa ubrizgavanja da bi se ubrizgao volumen od oko 100 ml goriva.



Slika 9. Mjerna menzura

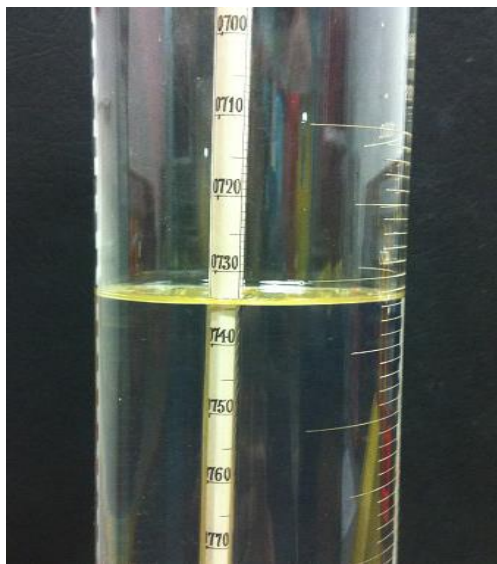
Unatoč tome, takvo mjerenje nije dovoljno precizno pa je menzura postavljena na preciznu digitalnu vagu te se pored volumena mjerila i masa ubrizganog goriva. Korištena je vaga OHAUS Explorer EX24001-EU čiji je kapacitet vaganja 24 kg, a točnost očitavanja 0,1 g što je čini prikladnom za takvo mjerenje jer na sam rezultat utječe mnoštvo faktora pa je mjerenje unutar 0,1 g sasvim prihvatljivo (slika 10).



Slika 10. Precizna digitalna vaga [7].

Mjerenje mase ubrizganog goriva korišteno je kao točna vrijednost, a mjerenje volumena uzeto je samo kao kontrola uz korištenje podatka o izmjerenoj gustoći korištenog goriva. Da prilikom ubrizgavanja nebi došlo do prskanja goriva van menzure, ona je bila zatvorena prozirnom ljepljivom folijom. Na foliji je probušena rupica kroz koju je postavljena brizgaljka. Promjena tlaka u sustavu vršila se promjenom tlaka u spremniku goriva, a ostali parametri, brzina vrtnje motora, trajanje ciklusa ubrizgavanja i broj ciklusa, mijenjani su unosom podataka u računalo. Na temelju tih podataka je upravljačka jedinica slala brizgaljki signale o početku i kraju ubrizgavanja.

Mjerenje je provedeno na dvije brizgaljke za dva goriva, benzin i apsolutni etilni alkohol. Prva korištena brizgaljka bila je FlexFuel brizgaljka prethodno korištena u Laboratoriju za motore i vozila. Prema proizvođaču, njezin statički maseni protok iznosi 172,4 g/min pri tlaku od 3 bara. Druga brizgaljka je odabrana uz uvjet da njezin maseni protok bude oko 100% veći od postojeće brizgaljke te je kupljena brizgaljka Bosch 0 280 156 148 čiji je statički maseni protok 337,6 g/min pri tlaku od 3 bara. Prvo je kao gorivo korišten benzin. Prije samog mjerenja izmjerena mu je gustoća pomoću areometra te je podatak unesen u tablicu zajedno s podacima o stanju atmosfere (slika 11).



Slika 11. Mjerenje gustoće benzina

Za svaku se brizgaljku mjerenje provodilo za 5 točaka pri 4 različita tlaka ubrizgavanja (slika 12). Za trajanje otvorenosti brizgaljke odabrane su vrijednosti od 2, 8, 15, 22 i 30 ms, a tlakovi pri kojima se provodilo mjerenje iznosili su 2.5, 3, 3.5 i 4 bara. Da bi

dobiveni rezultati bili što točniji, mjerenje svake točke ponovljeno je 3 puta i u obzir je uzeta srednja vrijednost rezultata. U početku su sva mjerenja provedena pri 1000 min^{-1} motora, ali to se pokazalo nepraktičnim jer je ubrizgavanje pojedinih točaka trajalo više od pola sata. Da bi se to vrijeme skratilo, točke od 2 i 8 ms mjerene su pri 3000 o/min. Kao drugo gorivo korišten je apsolutni etilni alkohol. Njegova je gustoća veća od gustoće benzina pa je nije bilo moguće izmjeriti postojećim areometrom u laboratoriju nego je korištena vrijednost iz certificate (prilog) dobivenog prilikom kupnje alkohola. Obzirom da je prilikom prvog mjerenja uočeno da su karakteristike brizgaljke linearne za sve tlakove, kod mjerenja s alkoholom pristupilo se racionalizaciji broja točaka s ciljem skraćivanja vremena potrebnog za obavljanje mjerenja. Tako su umjesto 5 točaka po tlaku mjerenih kod benzina, kod etanola mjerene samo 3 točke, i to najkraća od 2 ms, najduža od 30 ms i točka od 16 ms koja se nalazi u sredini između njih. Iz podataka dobivenih u prve dvije točke izračunata je jednačba pravca te se podatak dobiven u trećoj točki usporedio s podatkom koji se dobio iz jednačbe pravca, a budući da pogreška ni u jednoj točki nije prelazila 3% takvo je mjerenje prihvatljivo i dovoljno točno. To je bio pokazatelj da je racionalizacija bila opravdana.



Slika 12. Mjerenje količine ubrizganog goriva

5. PRIKAZ REZULTATA

Dobiveni rezultati prikazani su posebno u tablicama za oba korištena goriva, benzin i etanol, te za obje korištene brizgaljke. Na temelju njih izrađeni su dijagrami ovisnosti količine ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i duljini trajanja otvorenosti brizgaljke. Zatim su obradom rezultata izrađene regresijske funkcije koje uz podatke o tlaku ubrizgavanja i duljini trajanja otvorenosti brizgaljke izračunavaju količinu ubrizganog goriva te su u dijagramima prikazane usporedbe rezultata dobivenih tim funkcijama i mjerenjima. Prikazani su i dijagrami usporedbe brizgaljki korištenjem benzina i etanola, kao i usporedba korištenja benzina i etanola za svaku brizgaljku.

5.1. Rezultati mjerenja dobiveni korištenjem benzina kao goriva

U tablici 1 prikazani su uvjeti u kojima je mjerenje provedeno za FlexFeul brizgaljku i gustoća korištenog benzina. Tablicama 2, 3, 4 i 5 prikazani su izmjereni volumen i masa ubrizganog goriva po ciklusu u ovisnosti o duljini trajanja otvorenosti brizgaljke i tlaku ubrizgavanja. Dodan im je i volumen ubrizganog goriva po ciklusu izračunat iz mase pomoću podatka o gustoći korištenog goriva da bi se podatci odmah mogli usporediti.

Tablica 1. Stanje atmosfere i gustoća goriva 1

Tlak zraka:	1021 hPa
Relativna vlažnost zraka:	57 %
Temperatura zraka:	21 °C
Gustoća goriva:	733,5 g/dm ³

Tablica 2. Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bar-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja:	2,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,004594	0,00626	0,00629
8	0,018383	0,02506	0,02450
15	0,034150	0,04656	0,04900
22	0,049067	0,06685	0,06666
30	0,066100	0,09012	0,09067

Tablica 3. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bar-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja:	3 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,004969	0,00677	0,00683
8	0,020933	0,02854	0,02800
15	0,038300	0,05222	0,05250
22	0,055600	0,07580	0,07533
30	0,074500	0,10157	0,10200

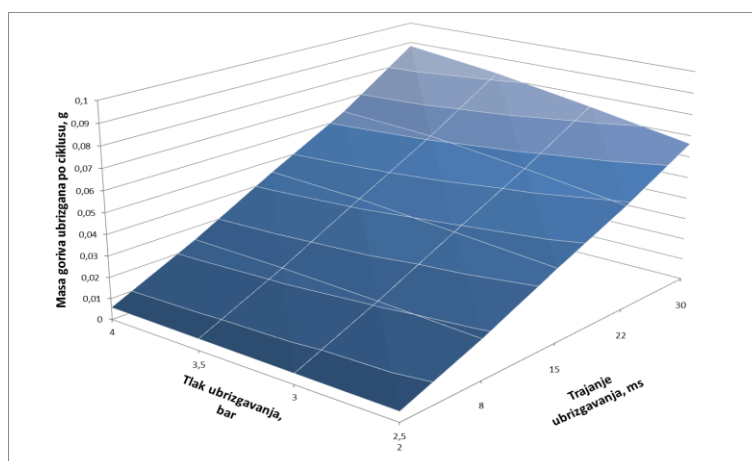
Tablica 4. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bar-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja:	3,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,005365	0,00731	0,00733
8	0,022908	0,03123	0,03142
15	0,042300	0,05767	0,05816
22	0,061133	0,08334	0,08289
30	0,082300	0,11220	0,11167

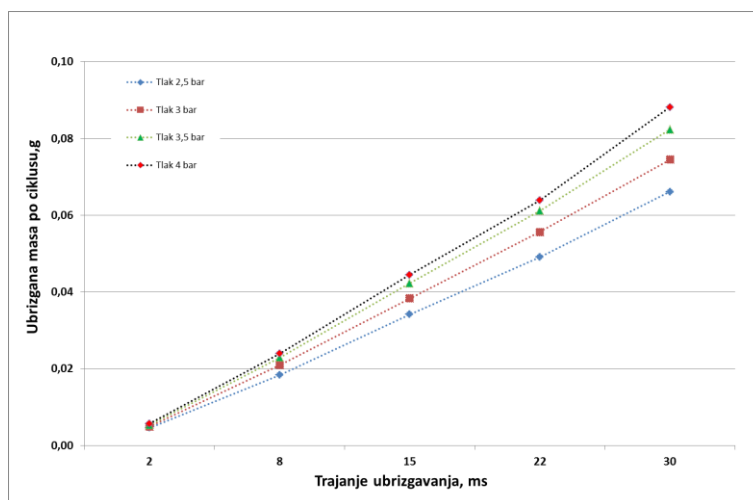
Tablica 5. Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bar-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja:	4 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,005723	0,00780	0,00748
8	0,023917	0,03261	0,03325
15	0,044483	0,06065	0,06284
22	0,063867	0,08707	0,08755
30	0,088133	0,12015	0,12200

Na temelju podataka u tablicama 2, 3, 4 i 5 izrađeni su dijagrami ovisnosti mase ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 13 i 14.



Slika 13. 3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin



Slika 14. Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin

Iz dijagrama je vidljivo da masa ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava masu ubrizganog goriva.

$$m = f(p, t) \quad (1)$$

Budući da masa linearno ovisi o trajanju ubrizgavanja možemo koristiti jednadžbu:

$$m = a \cdot t + b \quad (2)$$

Vrijednost mase ubrizganog goriva ovisi i o tlaku ubrizgavanja pa vrijedi:

$$a = f(p) \quad (3)$$

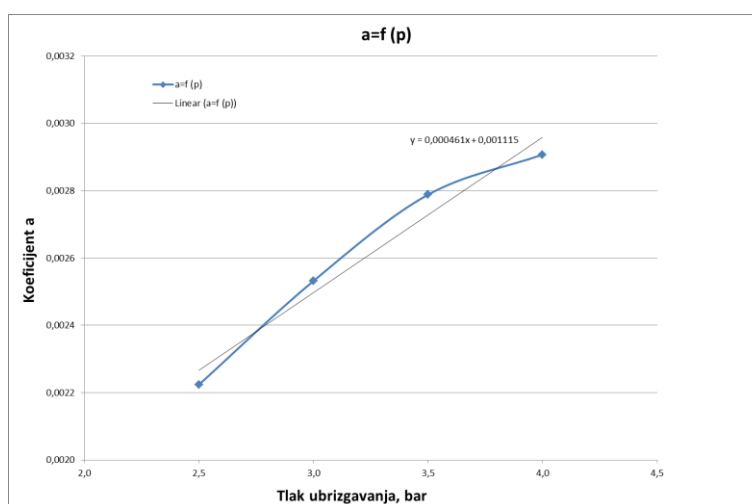
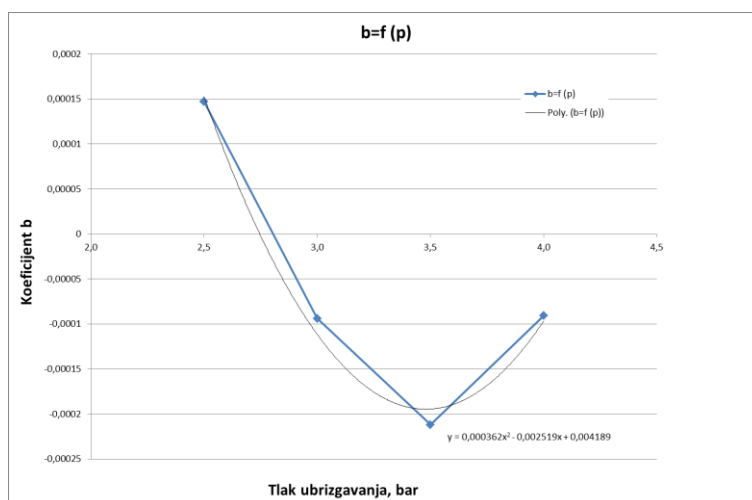
$$b = f(p) \quad (4)$$

Ove funkcije su dobivene na način da su karakteristike brizgaljke za pojedini tlak linearizirane te su koeficijenti njihovih jednadžbi uneseni u tablicu.

Tablica 6. Vrijednost koeficijenata mase-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent a	Koeficijent b
2,5	0,002224	0,000147
3	0,002532	-0,000094
3,5	0,002788	-0,000212
4	0,002907	-0,000091

Na temelju tablice 6 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 15 i 16.

**Slika 15. Funkcija $a=f(p)$ -FlexFuel-benzin****Slika 16. Funkcija $b=f(p)$ -FlexFuel-benzin**

Funkcija ovisnosti koeficijenta a o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta b polinom drugog reda. Te funkcije glase:

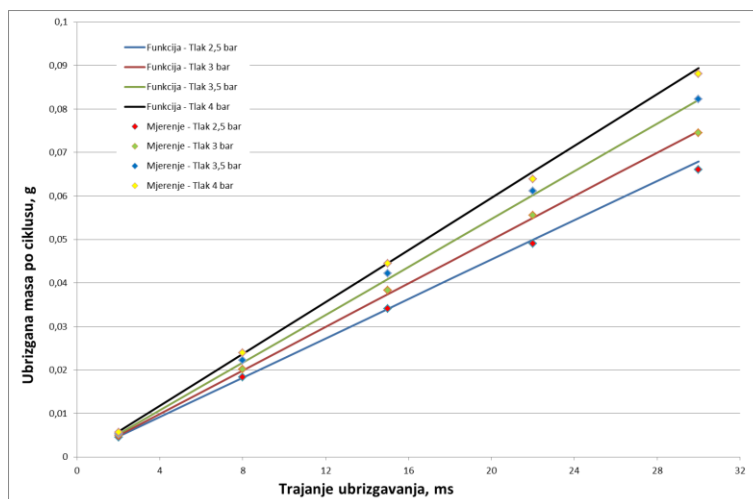
$$a_1 = 0,000483 \cdot p + 0,001053 \quad (5)$$

$$b_1 = 0,00029 \cdot p^2 - 0,002095 \cdot p + 0,003573 \quad (6)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (5) i (6) u jednadžbu (2) dobije se regresijska funkcija koja izračunava masu ubrizganog goriva.

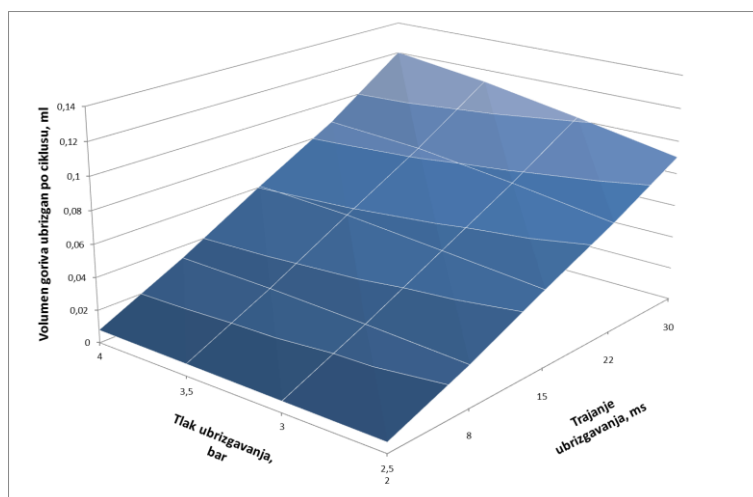
$$m_1 = (0,000483 \cdot p + 0,001053) \cdot t + (0,00029 \cdot p^2 - 0,002095 \cdot p + 0,003573) \quad (7)$$

Usporedbom rezultata ubrizgane mase goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 17.

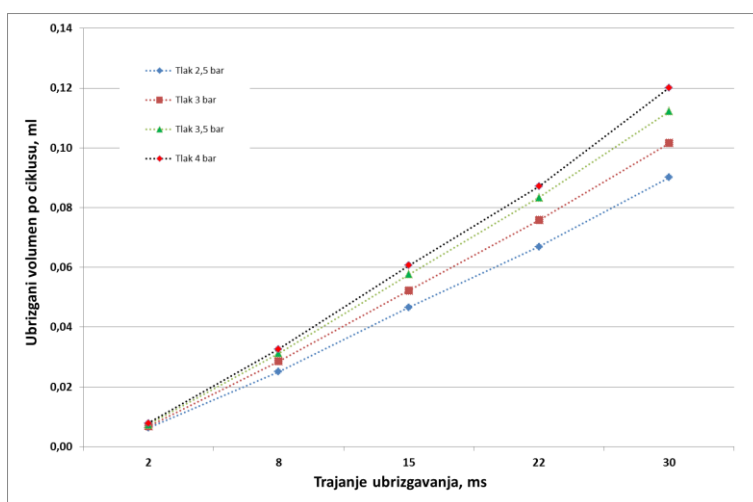


Slika 17. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-benzin

Na temelju podataka u tablicama 2, 3, 4 i 5 izrađeni su dijagrami ovisnosti volumena ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 18 i 19.



Slika 18. 3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-benzin



Slika 19. Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-benzin

Iz dijagrama je vidljivo da volumen ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava volumen ubrizganog goriva.

$$V = f(p, t) \quad (8)$$

Budući da volumen linearno ovisi o trajanju ubrizgavanja možemo koristiti jednadžbu:

$$V = c \cdot t + d \quad (9)$$

Vrijednost volumena ubrizganog goriva ovisi i o tlaku ubrizgavanja pa vrijedi:

$$c = f(p) \quad (10)$$

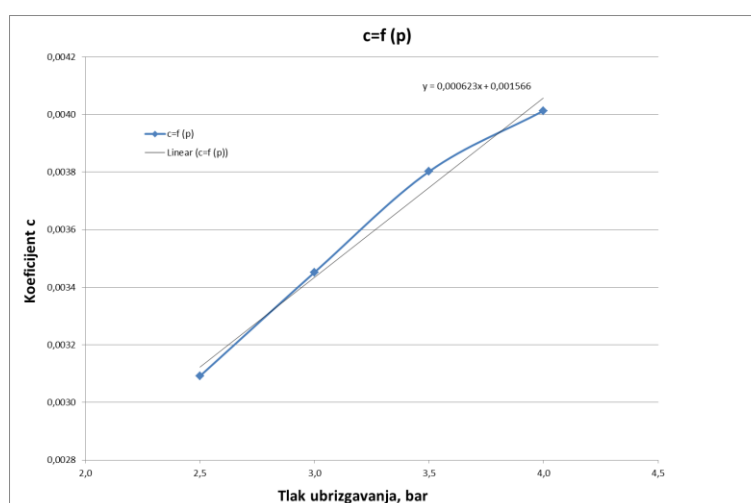
$$d = f(p) \quad (11)$$

Ove funkcije su dobivene na način da su karakteristike brizgaljke za pojedini tlak linearizirane te su koeficijenti njihovih jednadžbi uneseni u tablicu.

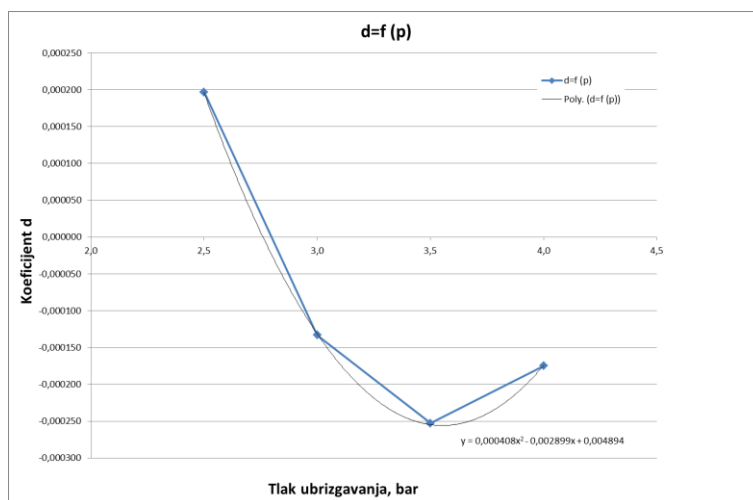
Tablica 7. Vrijednost koeficijenata volumena-FlexFuel-benzin

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent c	Koeficijent d
2,5	0,003092	0,000197
3	0,003452	-0,000133
3,5	0,003802	-0,000253
4	0,004013	-0,000175

Na temelju tablice 7 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 20 i 21.



Slika 20. Funkcija $c=f(p)$ -FlexFuel-benzin

Slika 21. Funkcija $d=f(p)$ -FlexFuel-benzin

Funkcija ovisnosti koeficijenta c o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta d polinom drugog reda. Te funkcije glase:

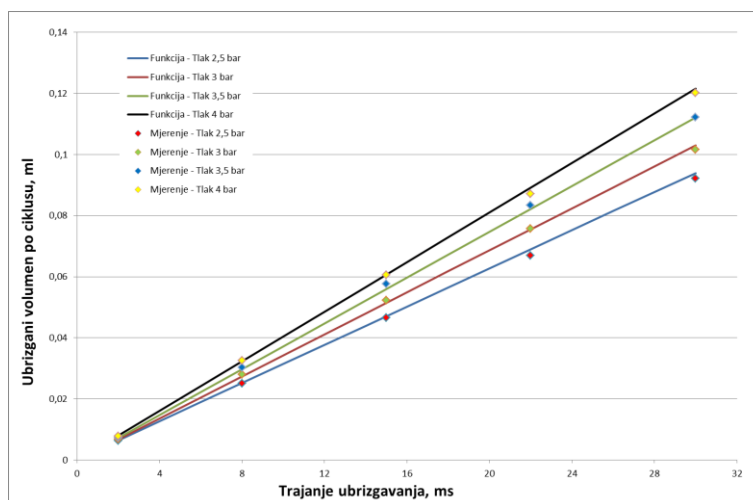
$$c_1 = 0,000623 \cdot p + 0,001566 \quad (12)$$

$$d_1 = 0,000408 \cdot p^2 - 0,002893 \cdot p + 0,004894 \quad (13)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (12) i (13) u jednadžbu (9) dobije se regresijska funkcija koja izračunava volumen ubrizganog goriva.

$$V_1 = (0,000623 \cdot p + 0,001566) \cdot t + (0,000408 \cdot p^2 - 0,002893 \cdot p + 0,004894) \quad (14)$$

Usporedbom rezultata ubrizganog volumena goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 22.



Slika 22. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-benzin

U tablici 8 prikazani su uvjeti u kojima je mjerenje provedeno za Bosch brizgaljku i gustoća korištenog benzina. Tablicama 9, 10, 11 i 12 prikazani su izmjereni volumen i masa ubrizganog goriva po ciklusu u ovisnosti o duljini trajanja otvorenosti brizgaljke i tlaku ubrizgavanja. Dodan im je i volumen ubrizganog goriva po ciklusu izračunat iz mase pomoću podatka o gustoći korištenog goriva da bi se podatci odmah mogli usporediti.

Tablica 8. Stanje atmosfere i gustoća goriva 2

Tlak zraka:	1014 hPa
Relativna vlažnost zraka:	65 %
Temperatura zraka:	21 °C
Gustoća goriva:	733,5 g/dm ³

Tablica 9. Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-Bosch-benzin

Tlak ubrizgavanja:	2,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,008690	0,01185	0,01180
8	0,040000	0,05038	0,05016
15	0,063758	0,08692	0,08789
22	0,090417	0,12327	0,12333
30	0,120242	0,16393	0,16304

Tablica 10. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-Bosch-benzin

Tlak ubrizgavanja:	3 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,009392	0,01280	0,01286
8	0,040984	0,05517	0,05556
15	0,070152	0,09564	0,09639
22	0,100500	0,13701	0,13750
30	0,132424	0,18054	0,18242

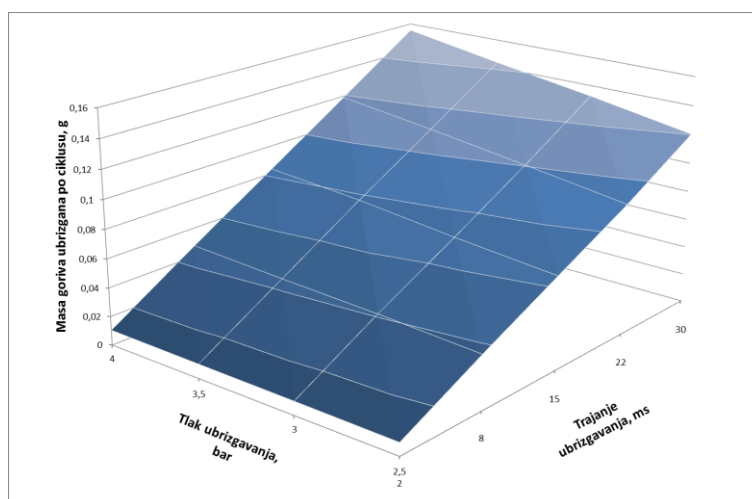
Tablica 11. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-Bosch-benzin

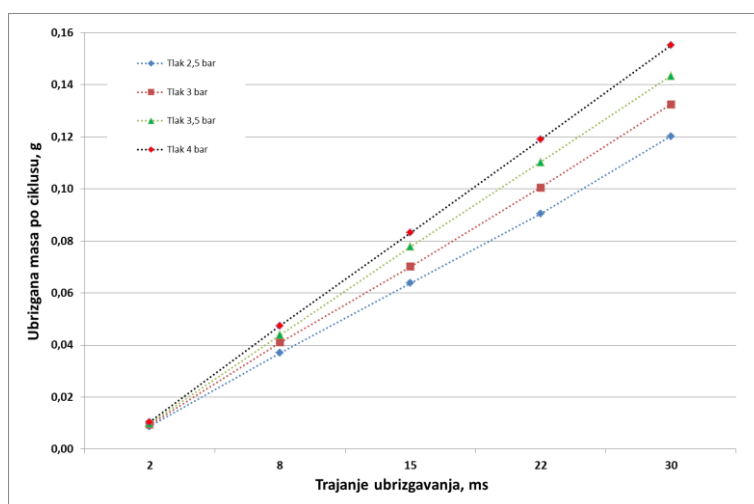
Tlak ubrizgavanja:	3,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,009875	0,01346	0,01357
8	0,043889	0,05983	0,05968
15	0,077788	0,10605	0,10515
22	0,110208	0,15025	0,15000
30	0,143394	0,19549	0,19758

Tablica 12. Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-Bosch-benzin

Tlak ubrizgavanja:	4 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,010435	0,01423	0,01435
8	0,047429	0,06466	0,06460
15	0,083121	0,11332	0,11273
22	0,119000	0,16224	0,16291
30	0,155152	0,21152	0,21273

Na temelju podataka u tablicama 9, 10, 11 i 12 izrađeni su dijagrami ovisnosti mase ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 23 i 24.

**Slika 23. 3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-benzin**



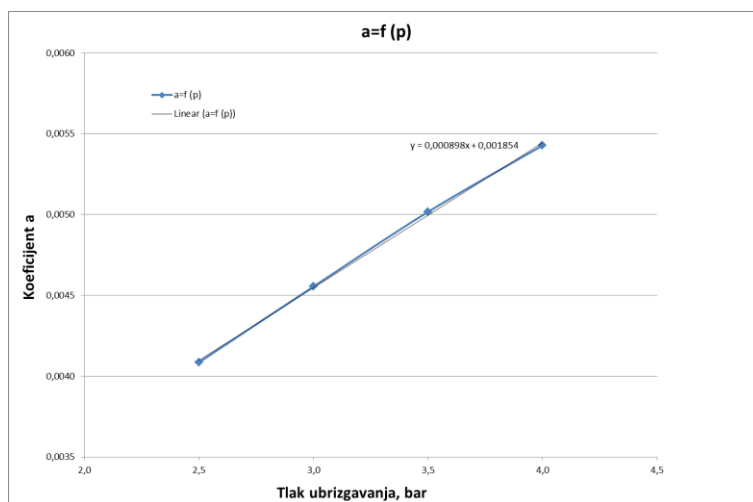
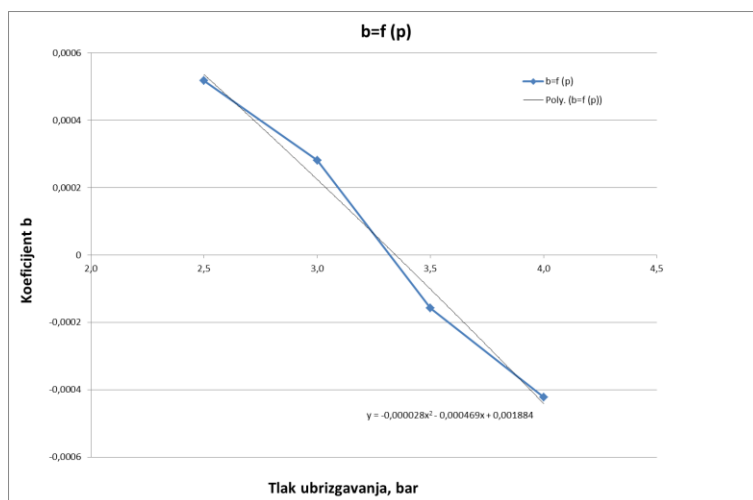
Slika 24. Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-benzin

Iz dijagrama je vidljivo da masa ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava masu ubrizganog goriva.

Tablica 13. Vrijednost koeficijenata mase Bosch-benzin

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent a	Koeficijent b
2,5	0,004086	0,000517
3	0,004555	0,000281
3,5	0,005017	-0,000158
4	0,005428	-0,000422

Na temelju tablice 13 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 25 i 26.

Slika 25. Funkcija $a=f(p)$ -Bosch-benzinSlika 26. Funkcija $b=f(p)$ -Bosch-benzin

Funkcija ovisnosti koeficijenta a o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta b polinom drugog reda. Te funkcije glase:

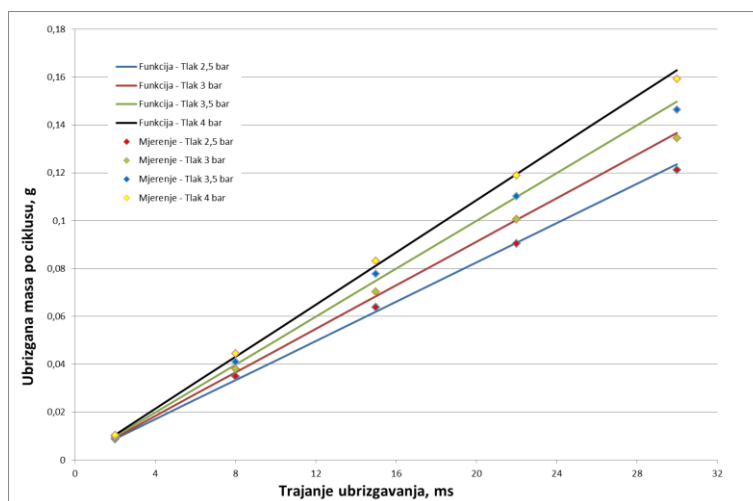
$$a_2 = 0,000898 \cdot p + 0,001854 \quad (18)$$

$$b_2 = -0,000028 \cdot p^2 - 0,000469 \cdot p + 0,001884 \quad (19)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (15) i (16) u jednadžbu (2) dobije se regresijska funkcija koja izračunava masu ubrizganog goriva.

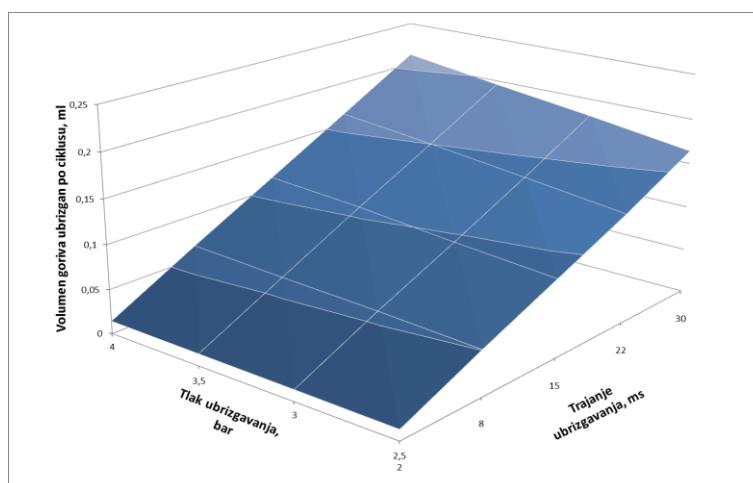
$$m_2 = (0,000898 \cdot p + 0,001854) + (-0,000028 \cdot p^2 - 0,000469 \cdot p + 0,001884) \quad (110)$$

Usporedbom rezultata ubrizgane mase goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 27.

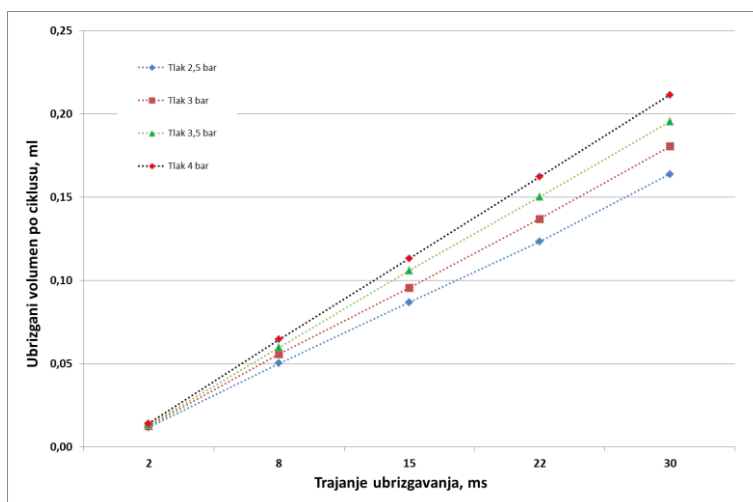


Slika 27. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-benzin

Na temelju podataka u tablicama 9, 10, 11 i 12 izrađeni su dijagrami ovisnosti volumena ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 28 i 29.



Slika 28. 3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-benzin



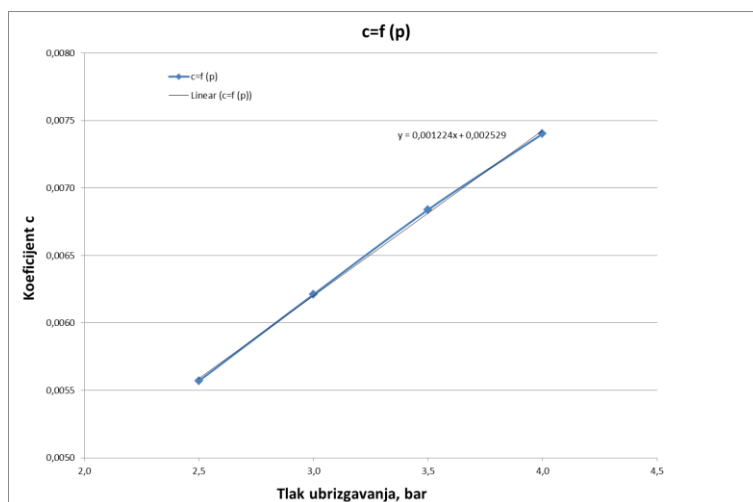
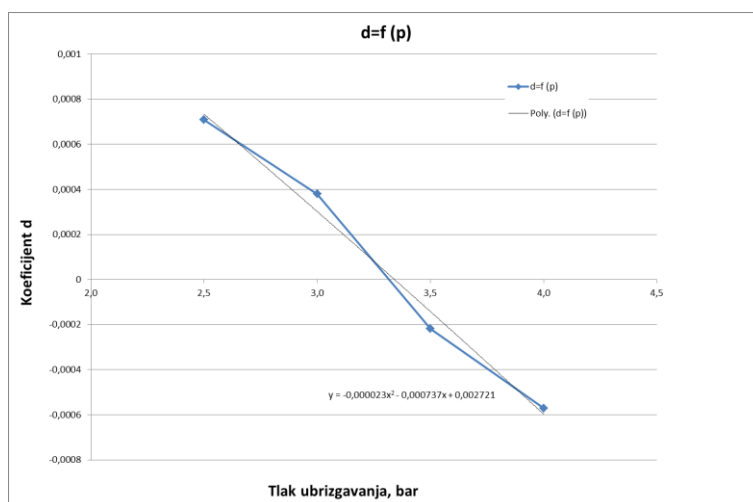
Slika 29. Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-benzin

Iz dijagrama je vidljivo da volumen ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava volumen ubrizganog goriva.

Tablica 14. Vrijednost koeficijenata volumena Bosch-benzin

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent c	Koeficijent d
2,5	0,005571	0,000708
3	0,006211	0,000379
3,5	0,006839	-0,000220
4	0,007401	-0,000570

Na temelju tablice 14 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 30 i 31.

Slika 30. Funkcija $c=f(p)$ -Bosch-benzinSlika 31. Funkcija $d=f(p)$ -Bosch-benzin

Funkcija ovisnosti koeficijenta c o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta d polinom drugog reda. Te funkcije glase:

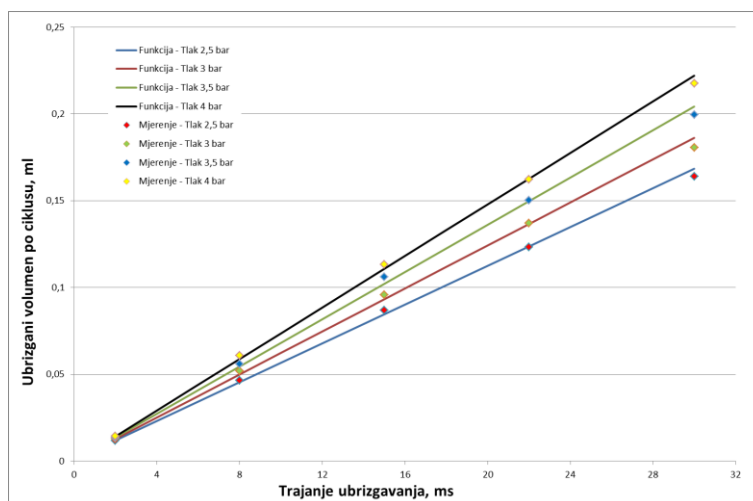
$$c_2 = 0,001224 \cdot p + 0,002529 \quad (18)$$

$$d_2 = -0,000023 \cdot p^2 - 0,000737 \cdot p + 0,002721 \quad (19)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (18) i (19) u jednadžbu (9) dobije se regresijska funkcija koja izračunava volumen ubrizganog goriva.

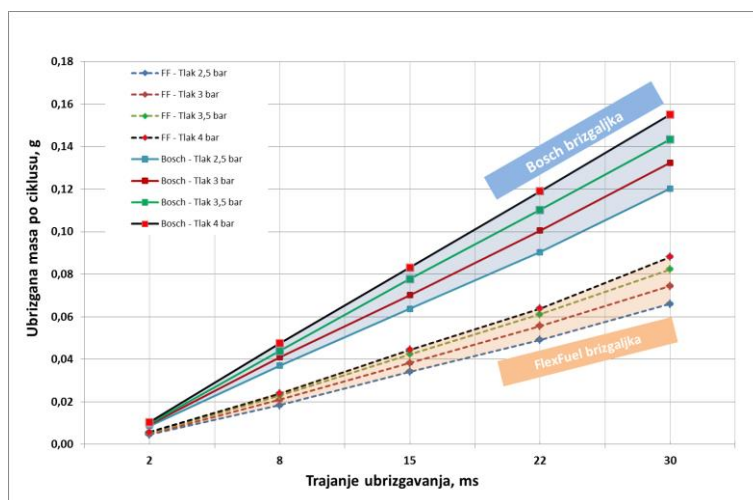
$$V_2 = (0,001224 \cdot p + 0,002529) \cdot t + (-0,000023 \cdot p^2 - 0,000737 \cdot p + 0,002721) \quad (20)$$

Usporedbom rezultata ubrizganog volumena goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 32.

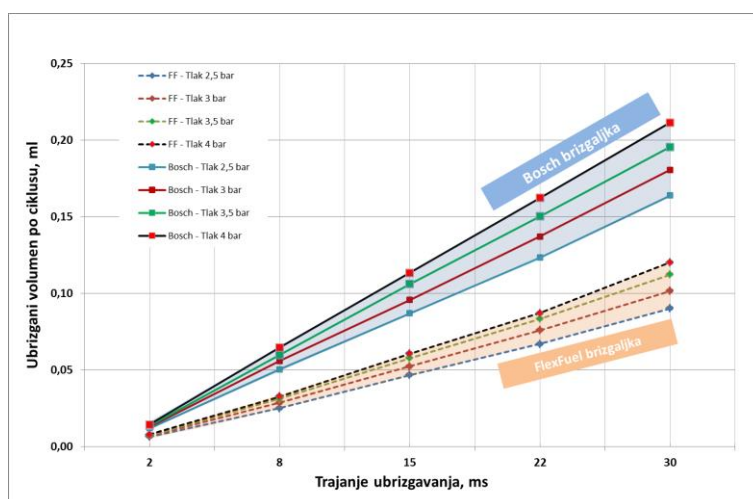


Slika 32. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-benzin

Karakteristike brizgaljki dobivene mjerenjima s benzinom prikazane su u istim dijagramima radi usporedbe, slike 33 i 34.



Slika 33. Masena usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-benzin



Slika 34. Volumenska usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-benzin

5.2. Rezultati mjerenja dobiveni korištenjem etanola kao goriva

U tablici 15 prikazani su uvjeti u kojima je mjerenje provedeno za FlexFeul brizgaljku i gustoća korištenog etanola. Tablicama 16, 17, 18 i 19 prikazani su izmjereni volumen i masa ubrizganog goriva po ciklusu u ovisnosti o duljini trajanja otvorenosti brizgaljke i tlaku ubrizgavanja. Dodan im je i volumen ubrizganog goriva po ciklusu izračunat iz mase pomoću podatka o gustoći korištenog goriva da bi se podatci odmah mogli usporediti.

Tablica 15. Stanje atmosfere i gustoća goriva 3

Tlak zraka:	1015 hPa
Relativna vlažnost zraka:	70 %
Temperatura zraka:	24 °C
Gustoća goriva:	789 g/dm ³

Tablica 16. Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja:	2,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,004303	0,00545	0,00549
16	0,040470	0,05129	0,05273
30	0,076361	0,09678	0,09833

Tablica 17. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja:	3 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,004642	0,00588	0,00606
16	0,044545	0,05646	0,05849
30	0,084500	0,10710	0,11000

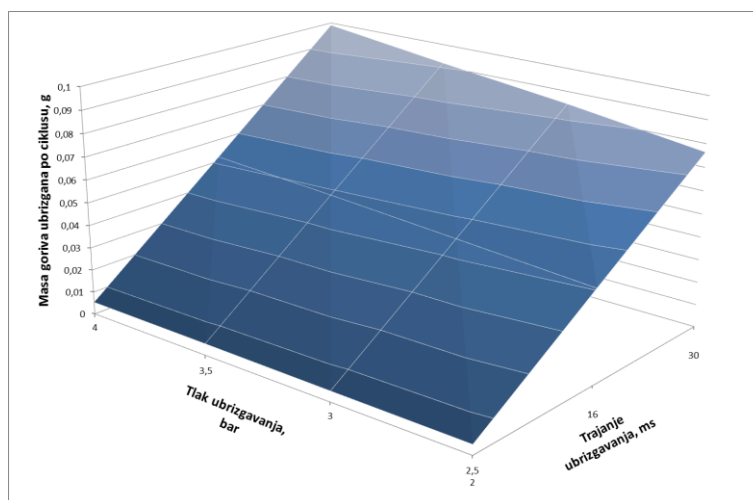
Tablica 18. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja:	3,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,005057	0,00641	0,00650
16	0,048484	0,06145	0,06242
30	0,091417	0,11586	0,11806

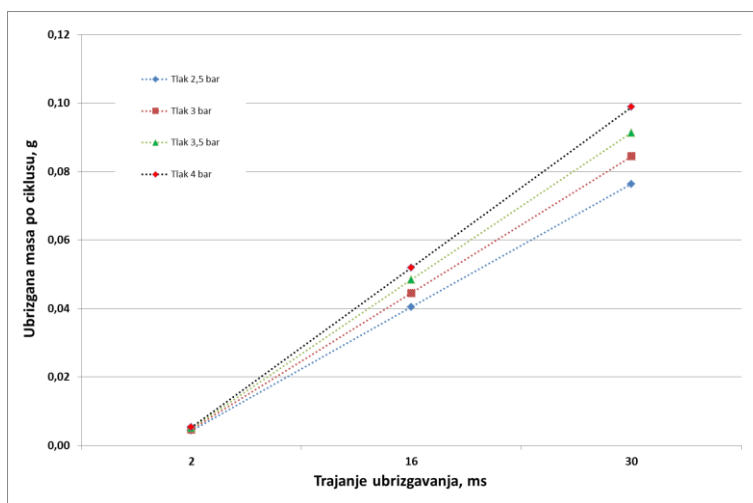
Tablica 19. Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja:	4 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,005318	0,00674	0,00693
16	0,051985	0,06589	0,06606
30	0,098889	0,12533	0,12556

Na temelju podataka u tablicama 16, 17, 18 i 19 izrađeni su dijagrami ovisnosti mase ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 35 i 36.



Slika 35. 3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-etanol



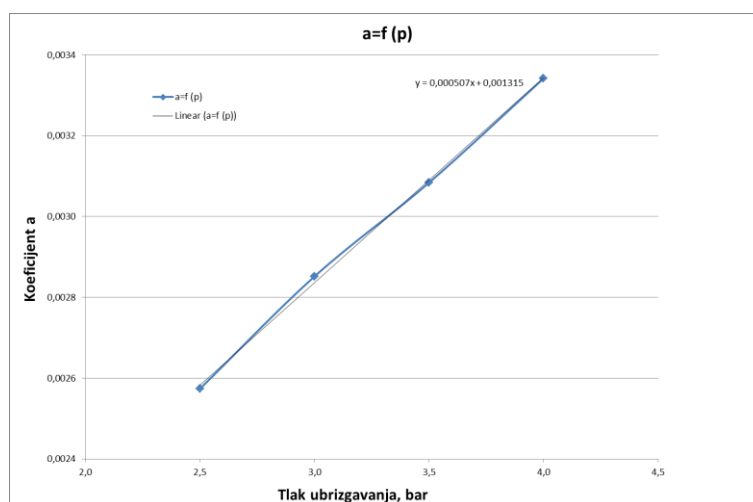
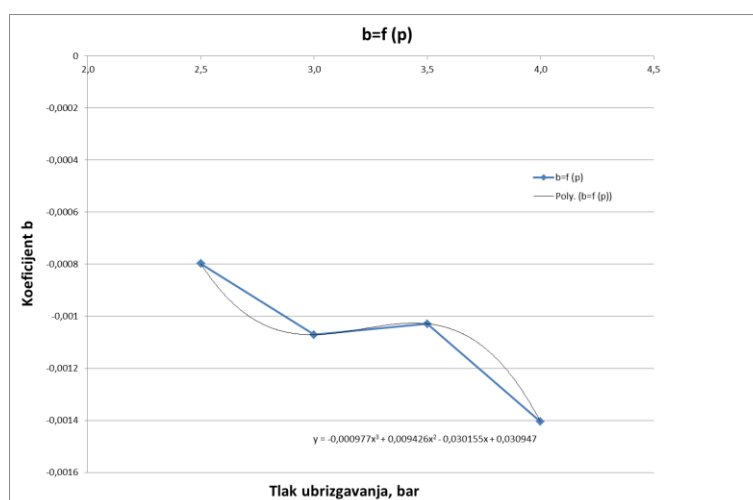
Slika 36. Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-etanol

Iz dijagrama je vidljivo da masa ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava masu ubrizganog goriva.

Tablica 20. Vrijednost koeficijenata mase FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent a	Koeficijent b
2,5	0,002574	-0,00080
3	0,002852	-0,00107
3,5	0,003084	-0,00103
4	0,003342	-0,00141

Na temelju tablice 20 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 37 i 38.

**Slika 37. Funkcija $a=f(p)$ -FlexFuel-etanol****Slika 38. Funkcija $b=f(p)$ -FlexFuel-etanol**

Funkcija ovisnosti koeficijenta a o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta b polinom trećeg reda. Te funkcije glase:

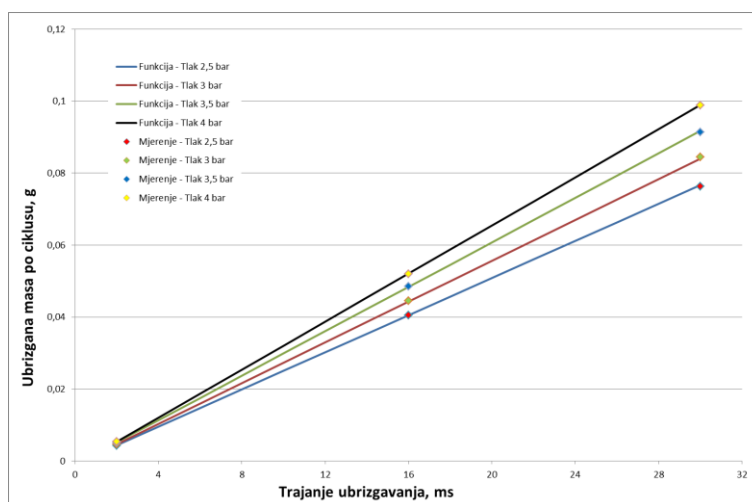
$$a_3 = 0,000507 \cdot p + 0,001315 \quad (21)$$

$$b_3 = -0,000977 \cdot p^3 + 0,009426 \cdot p^2 - 0,030155 \cdot p + 0,030947 \quad (22)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (21) i (22) u jednadžbu (2) dobije se regresijska funkcija koja izračunava masu ubrizganog goriva.

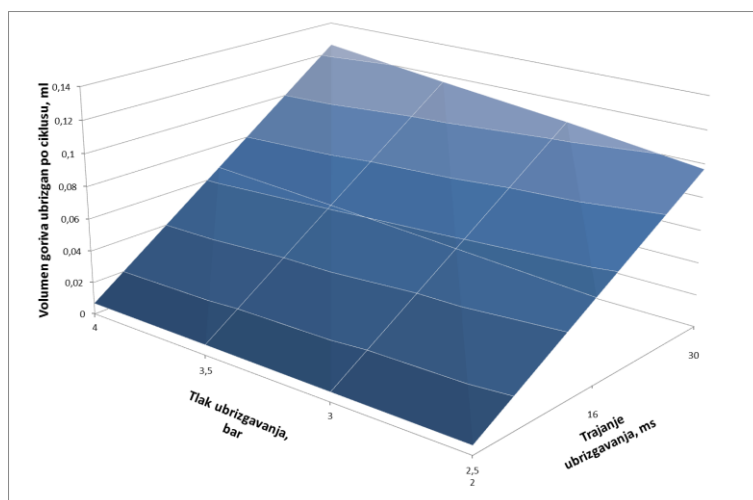
$$m_3 = (0,000507 \cdot p + 0,001315) \cdot t + (-0,000977 \cdot p^3 + 0,009426 \cdot p^2 - 0,030155 \cdot p + 0,030947) \quad (23)$$

Usporedbom rezultata ubrizgane mase goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 39.

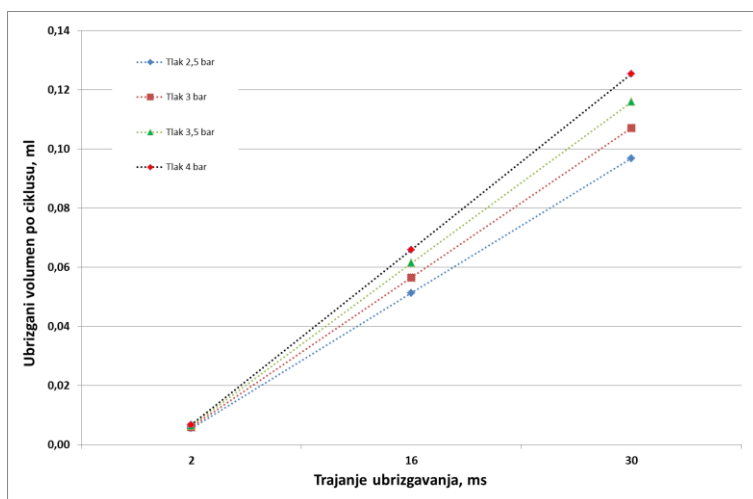


Slika 39. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-etanol

Na temelju podataka u tablicama 16, 17, 18 i 19 izrađeni su dijagrami ovisnosti volumena ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 40 i 41.



Slika 40. 3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -FlexFuel-etanol



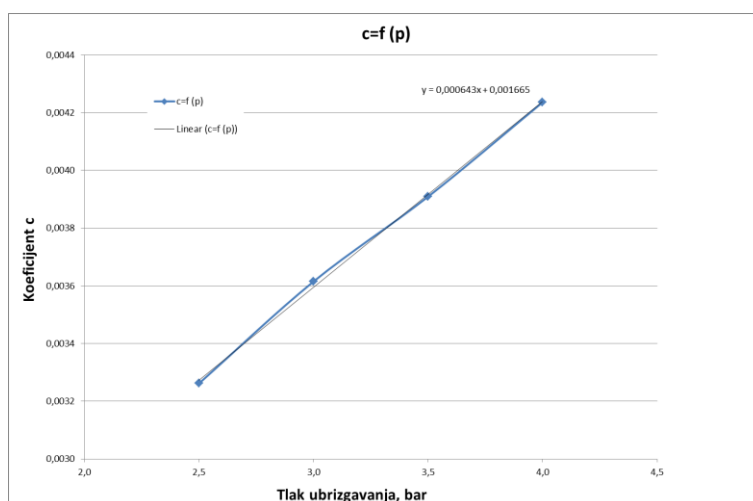
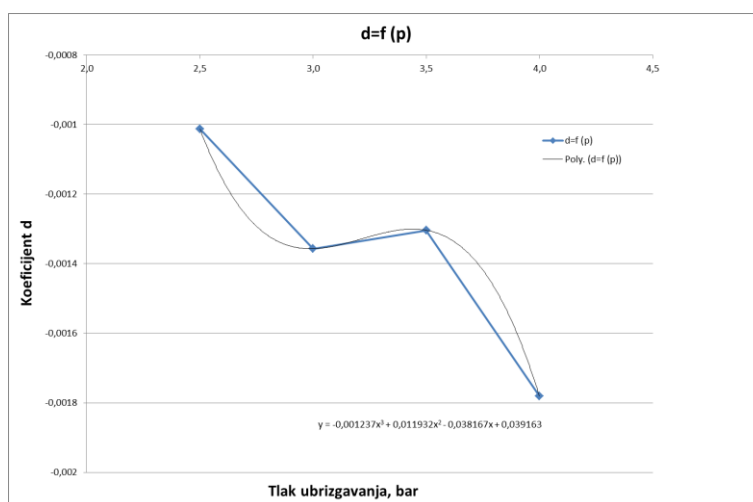
Slika 41. Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-FlexFuel-etanol

Iz dijagrama je vidljivo da volumen ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava volumen ubrizganog goriva.

Tablica 21. Vrijednosti koeficijenata volumena FlexFuel-etanol

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent c	Koeficijent d
2,5	0,003262	-0,00101
3	0,003615	-0,00136
3,5	0,003909	-0,00130
4	0,004236	-0,00178

Na temelju tablice 21 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 42 i 43.

**Slika 42. Funkcija $c=f(p)$ -FlexFuel-etanol****Slika 43. Funkcija $d=f(p)$ -FlexFuel-etanol**

Funkcija ovisnosti koeficijenta c o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta d polinom trećeg reda. Te funkcije glase:

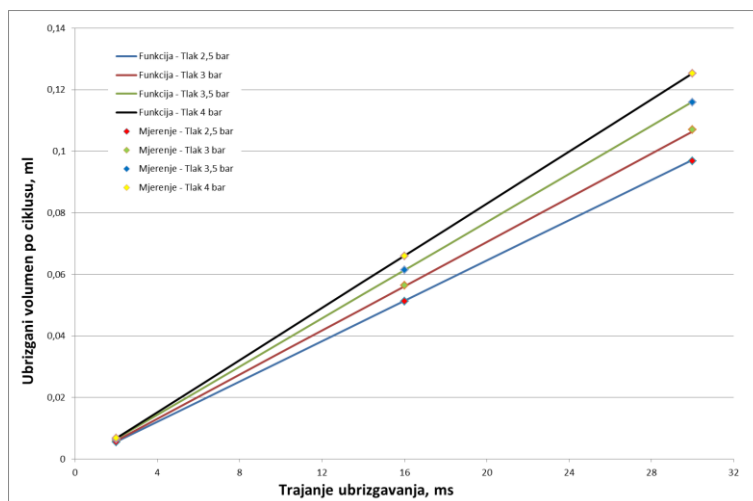
$$c_3 = 0,000643 \cdot p + 0,001665 \quad (24)$$

$$d_3 = -0,001237 \cdot p^3 + 0,011932 \cdot p^2 - 0,038167 \cdot p + 0,039163 \quad (25)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (24) i (25) u jednadžbu (9) dobije se regresijska funkcija koja izračunava volumen ubrizganog goriva.

$$V_3 = (0,000643 \cdot p + 0,001665) \cdot t + (-0,001237 \cdot p^3 + 0,011932 \cdot p^2 - 0,038167 \cdot p + 0,039163) \quad (26)$$

Usporedbom rezultata ubrizganog volumena goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 44.



Slika 44. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-FlexFuel-etanol

U tablici 22 prikazani su uvjeti u kojima je mjerenje provedeno za Bosch brizgaljku i gustoća korištenog etanola. Tablicama 22, 23, 24 i 25 prikazani su izmjereni volumen i masa ubrizganog goriva po ciklusu u ovisnosti o duljini trajanja otvorenosti brizgaljke i tlaku ubrizgavanja. Dodan im je i volumen ubrizganog goriva po ciklusu izračunat iz mase pomoću podatka o gustoći korištenog goriva da bi se podatci odmah mogli usporediti.

Tablica 22. Stanje atmosfere i gustoća goriva 4

Tlak zraka:	1017 hPa
Relativna vlažnost zraka:	54 %
Temperatura zraka:	24 °C
Gustoća goriva:	789 g/dm ³

Tablica 23. Rezultati mjerenja pri tlaku od 2,5 bara-Bosch-etanol

Tlak ubrizgavanja:	2,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,008495	0,01077	0,01116
16	0,074361	0,09425	0,08944
30	0,138667	0,17575	0,18051

Tablica 24. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3 bara-Bosch-etanol

Tlak ubrizgavanja:	3 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,009270	0,01175	0,01211
16	0,081000	0,10266	0, 10500
30	0,152103	0,19278	0,19743

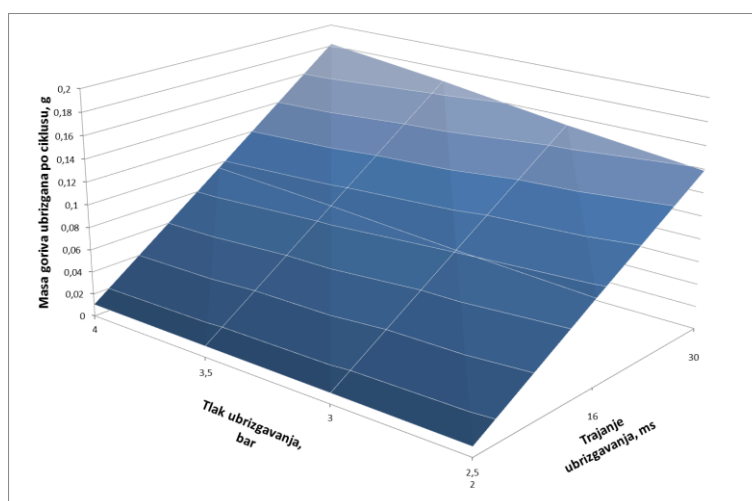
Tablica 25. Rezultati mjerenja pri tlaku od 3,5 bara-Bosch-etanol

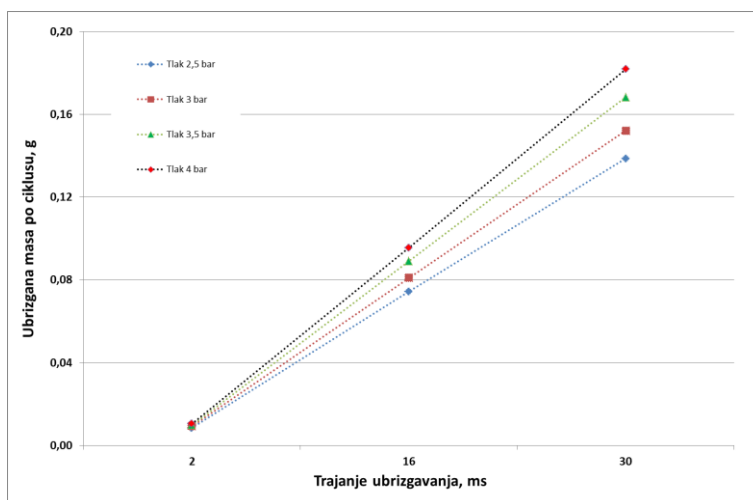
Tlak ubrizgavanja:	3,5 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,009811	0,01243	0,01298
16	0,089083	0,11291	0,11389
30	0,168205	0,21319	0,21642

Tablica 26. Rezultati mjerenja pri tlaku od 4 bara-Bosch-etanol

Tlak ubrizgavanja:	4 bar		
Trajanje otvorenosti brizgaljke, ms	Izmjerena masa goriva po ciklusu, g	Izračunati volumen goriva po ciklusu, ml	Očitani volumen goriva, po ciklusu, ml
2	0,010474	0,01327	0,01368
16	0,095556	0,12111	0,12278
30	0,181846	0,23048	0,23282

Na temelju podataka u tablicama 23, 24, 25 i 26 izrađeni su dijagrami ovisnosti mase ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 45 i 46.

**Slika 45. 3D ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-etanol**



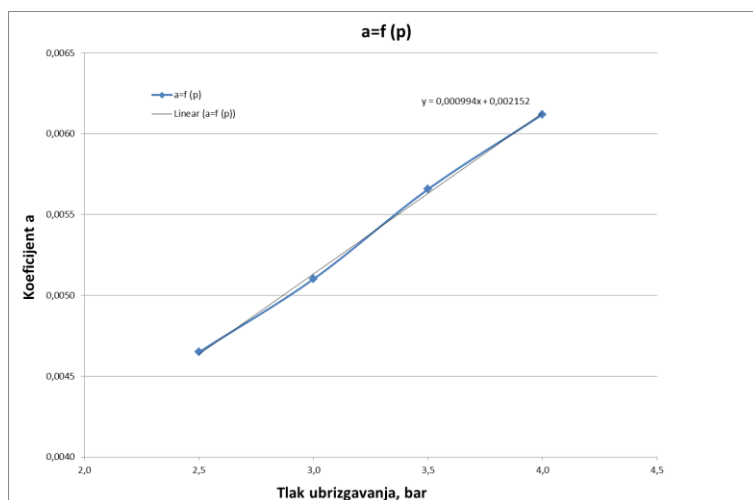
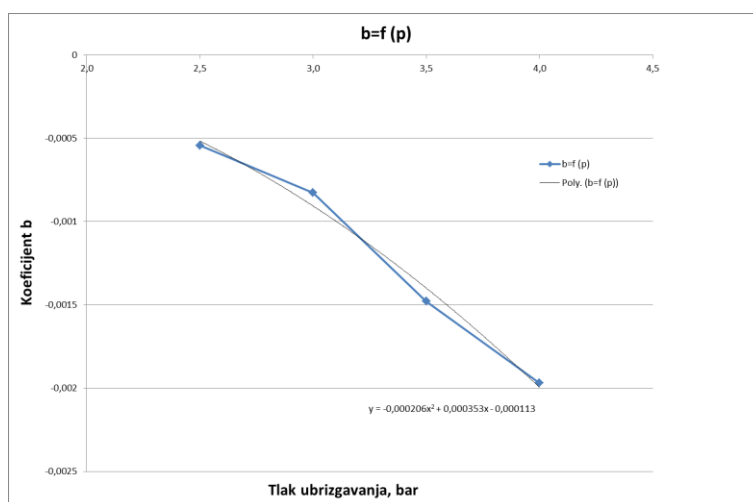
Slika 46. Ovisnost mase ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-etanol

Iz dijagrama je vidljivo da masa ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava masu ubrizganog goriva.

Tablica 27. Vrijednosti koeficijenata mase Bosch-etanol

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent a	Koeficijent b
2,5	0,004649	-0,00054
3	0,005101	-0,00084
3,5	0,005657	-0,00148
4	0,006120	-0,00197

Na temelju tablice 27 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 47 i 48.

Slika 47. Funkcija $a=f(p)$ -Bosch-etanolSlika 48. Funkcija $b=f(p)$ -Bosch-etanol

Funkcija ovisnosti koeficijenta a o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta b polinom drugog reda. Te funkcije glase:

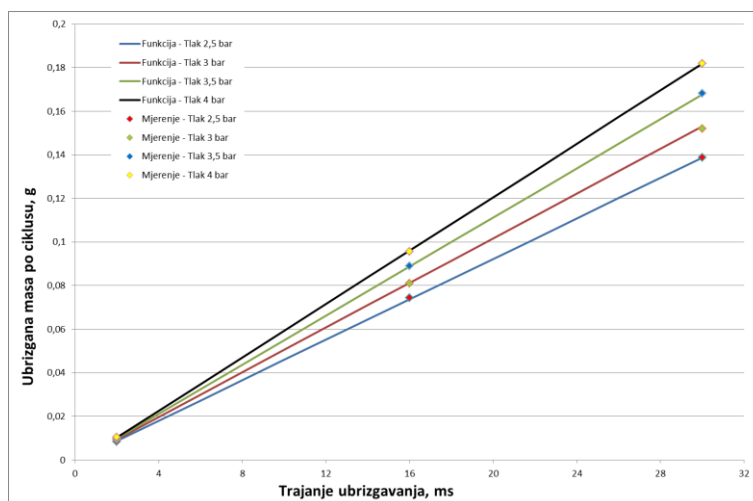
$$a_4 = 0,000994 \cdot p + 0,002152 \quad (27)$$

$$b_4 = -0,000206 \cdot p^2 + 0,000353 \cdot p - 0,000113 \quad (28)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (27) i (28) u jednadžbu (2) dobije se regresijska funkcija koja izračunava masu ubrizganog goriva.

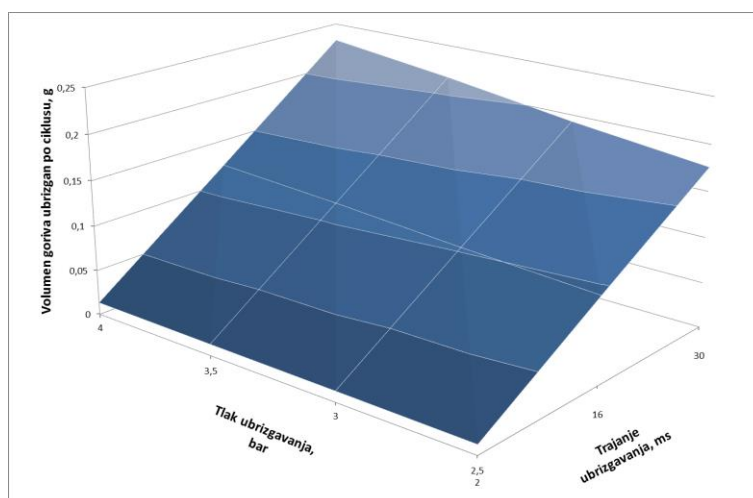
$$m_4 = (0,000994 \cdot p + 0,002152) \cdot t + (-0,000206 \cdot p^2 + 0,000353 \cdot p - 0,000113) \quad (29)$$

Usporedbom rezultata ubrizgane mase goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 49.

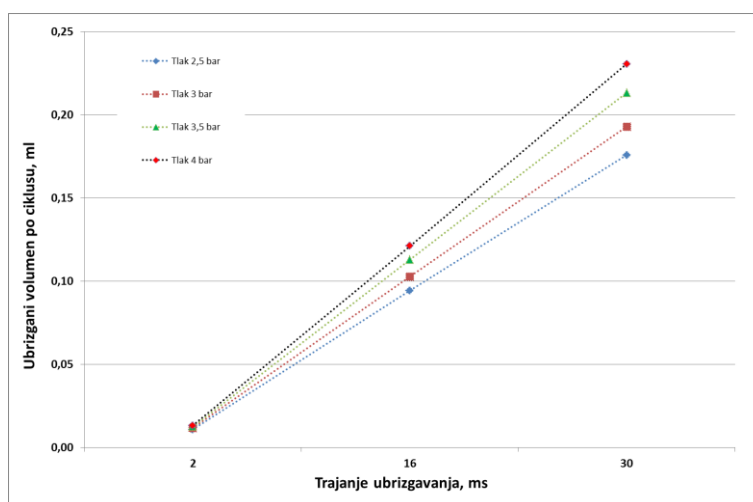


Slika 49. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-etanol

Na temelju podataka u tablicama 23, 24, 25 i 26 izrađeni su dijagrami ovisnosti volumena ubrizganog goriva o tlaku ubrizgavanja i trajanju otvorenosti brizgaljke, slike 50 i 51.



Slika 50. 3D ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem -Bosch-etanol



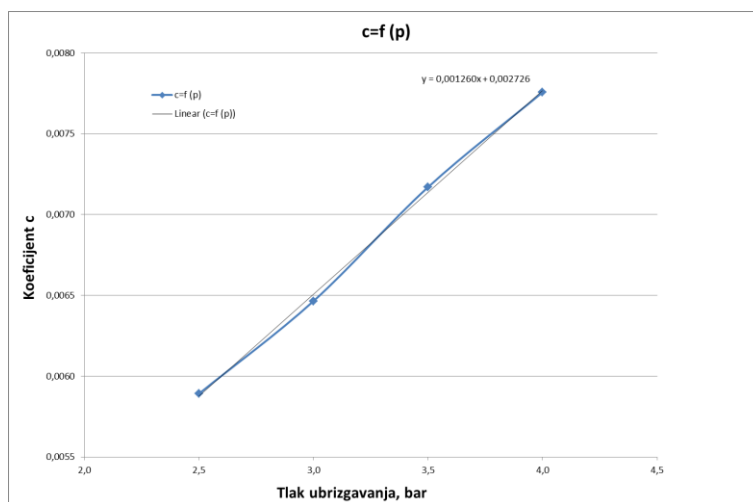
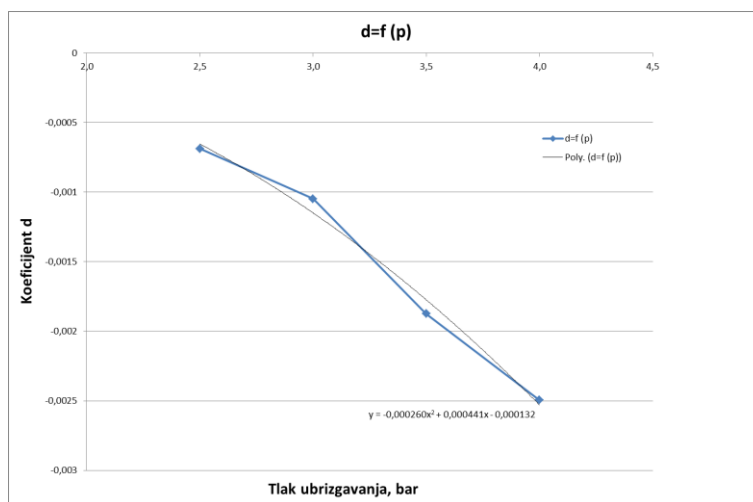
Slika 51. Ovisnost volumena ubrizganog goriva o duljini trajanja ubrizgavanja i tlaku ubrizgavanja dobivena mjerenjem-Bosch-etanol

Iz dijagrama je vidljivo da volumen ubrizganog goriva raste približno linearno s produljenjem trajanja ubrizgavanja te je na temelju toga izrađena regresijska funkcija koja uz zadane tlak i trajanje ubrizgavanja izračunava volumen ubrizganog goriva.

Tablica 28. Vrijednosti koeficijenata volumena Bosch-etanol

Tlak ubrizgavanja, bar	Koeficijent c	Koeficijent d
2,5	0,005892	-0,00069
3	0,006465	-0,00105
3,5	0,007170	-0,00187
4	0,007757	-0,00250

Na temelju tablice 28 izrađeni su dijagrami ovisnosti koeficijenata o tlaku, slike 52 i 53.

Slika 52. Funkcija $c=f(p)$ -Bosch-etanolSlika 53. Funkcija $d=f(p)$ -Bosch-etanol

Funkcija ovisnosti koeficijenta a o tlaku ubrizgavanja opisana je linearnom funkcijom, dok je ovisnost koeficijenta b polinom drugog reda. Te funkcije glase:

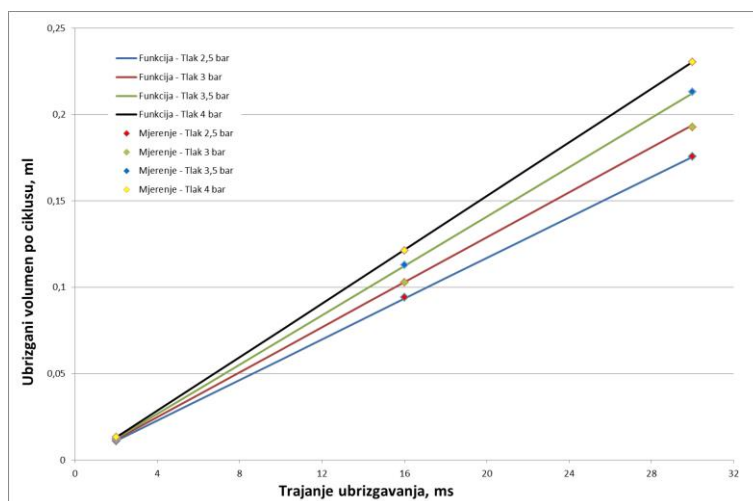
$$c_4 = 0,00126 \cdot p + 0,002726 \quad (30)$$

$$d_4 = -0,00026 \cdot p^2 + 0,000441 \cdot p - 0,000132 \quad (31)$$

Nakon uvrštavanja jednadžbi (30) i (31) u jednadžbu (9) dobije se regresijska funkcija koja izračunava volumen ubrizganog goriva.

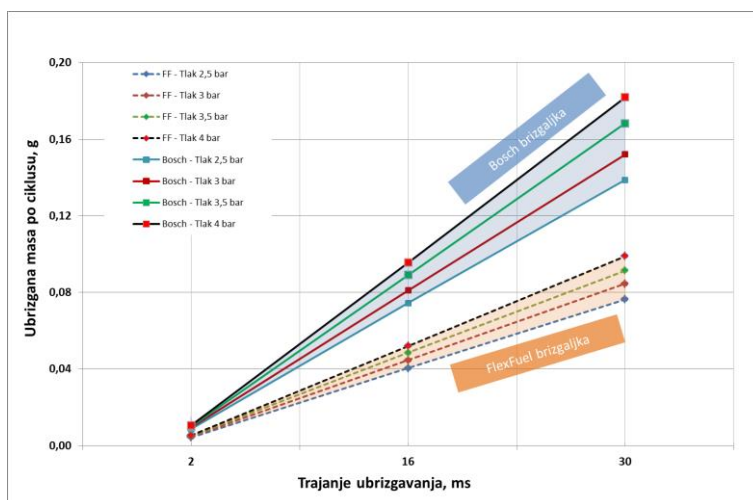
$$V_4 = (0,00126 \cdot p + 0,002726) \cdot t + (-0,00026 \cdot p^2 + 0,000441 \cdot p - 0,000132) \quad (32)$$

Usporedbom rezultata ubrizganog volumena goriva dobivenih mjerenjem i regresijskom funkcijom izrađen je dijagram usporedbe, slika 54.

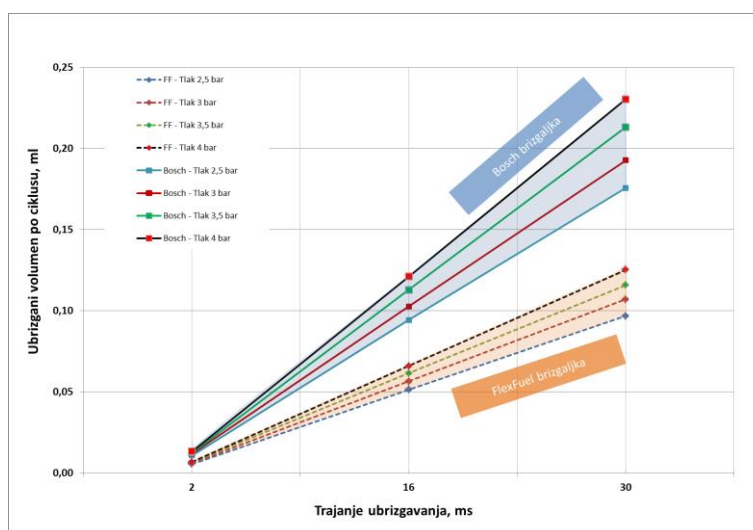


Slika 54. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog goriva dobivenih mjerenjima i funkcijom-Bosch-etanol

Karakteristike brizgaljki dobivene mjerenjima s etanolom prikazane su u istim dijagramima radi usporedbe, slike 55 i 56.



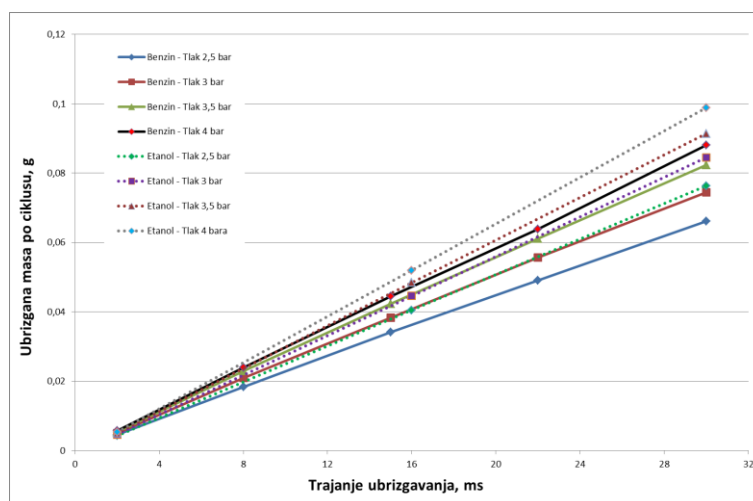
Slika 55. Masena usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-etanol



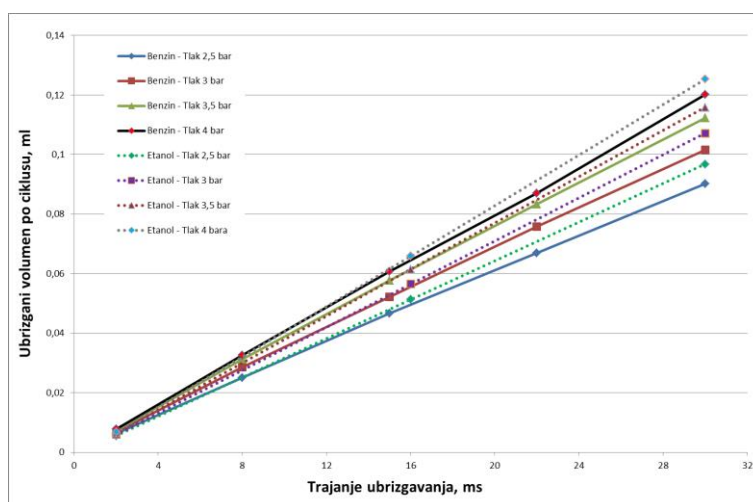
Slika 56. Volumenska usporedba brizgaljki dobivena mjerenjem-etanol

5.3. Usporedba korištenja različitih goriva

Masena i volumna usporedba brizgaljke FlexFuel za benzin i etanol prikazane su dijagramima na slikama 57 i 58.

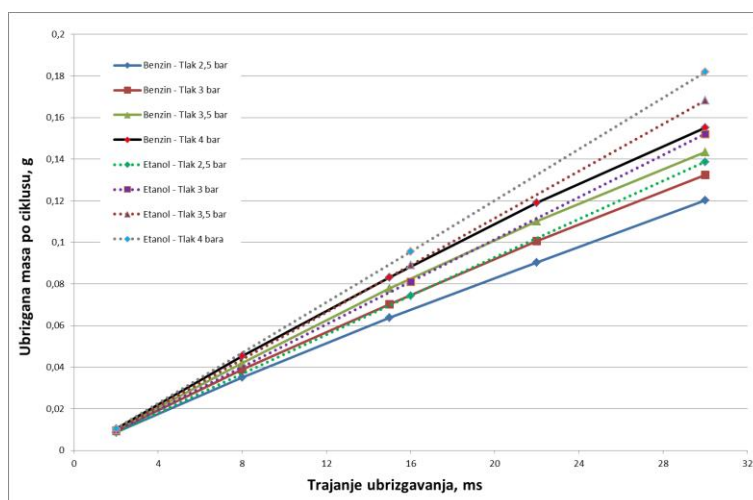


Slika 57. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-FlexFuel

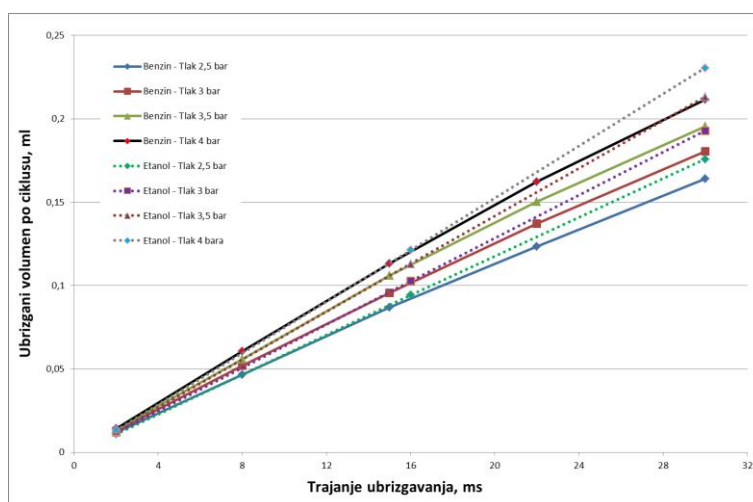


Slika 58. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-FlexFuel

Masena i volumna usporedba brizgaljke Bosch za benzin i etanol prikazane su dijagramima na slikama 59 i 60.



Slika 59. Usporedba ovisnosti mase ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-Bosch



Slika 60. Usporedba ovisnosti volumena ubrizganog benzina i etanola po ciklusu-Bosch

6. ZAKLJUČAK

Ubrizgavanje kod Ottovih motora važna je stvar u nastojanjima da se smanji potrošnja goriva, a samim time i količina štetnih tvari nastalih kod izgaranja u motorima s unutarnjim izgaranjem. Postiže se bolje miješanje smjese te je moguće precizno kontrolirati količinu ubrizganog goriva koja je iznimno bitna za pravilan rad motora. Količina goriva koja se ubrizga prilikom jednog ciklusa regulira se trajanjem otvorenosti brizgaljke tako da je bitno poznavati njenu karakteristiku. Budući da tlak u sustavu ubrizgavanja i usisnoj grani varira ovakvo ispitivanje nam pomaže da bi količinu ubrizganog goriva mogli održavati potrebnom ovisno o zadanim parametrima jer podaci koje daje proizvođač brizgaljke nisu dovoljno opširni. Iz prikazanih rezultata je vidljivo da masa i volumen ubrizganog goriva gotovo linearno ovise o duljini trajanja otvorenosti brizgaljke pri zadanom tlaku. Promjenom tlaka u sustavu toj se linearnoj funkciji mijenja nagib, te masa i volumen ubrizganog goriva rastu s povećanjem tlaka i obratno. Također na masu i volumen ubrizganog goriva utječe i vrsta korištenog goriva, što je izraženije pri duljem trajanju otvorenosti brizgaljke. Na temelju rezultata dobivenih provedenim mjerenjem napravljene su regresijske funkcije koje uz podatke o tlaku ubrizgavanja i duljini trajanja otvorenosti brizgaljke izračunavaju masu i volumen ubrizganog goriva. Dobivene regresijske funkcije mogu se ugraditi u program koji upravlja radom motora. Prosječna pogreška regresijskih funkcija iznosi 1,28% u odnosu na rezultate dobivene mjerenjem što je prihvatljivo da bi se mogle koristiti za upravljanje radom motora.

LITERATURA

- [1] Kalinić, Z.: Motori s unutrašnjim izgaranjem, Školska knjiga, Zagreb, 2004.
- [2] Popović, G.: Tehnika motornih vozila, Pučko otvoreno učilište Zagreb, 2004.
- [3] Grljušić, M.: Motori s unutrašnjim izgaranjem, FESB, Sveučilište Split, 2000.
- [4] http://www.aficionadosalamecanica.net/inyeccion_monopunto.htm
- [5] Mahalec, Lulić, Kozarac : Motori s unutarnjim izgaranjem, FSB Zagreb, 2010.
- [6] www.autonet.hr/ubrizgavanje-goriva
- [7] <http://www.testequipmentdepot.com/ohaus/scales/analytical-precision-balances/explorer-precision/explorer-precision-high-balance-12000g-ex24001.htm>

PRILOZI

I. Certifikat etilnog alkohola

ETIL PROMET d.o.o.

Durmitorska 7
10 000 Zagreb
OIB: 96066345853
žiro račun: 2360000-1102297367
info@etil.hr
www.etil.hr

CERTIFIKAT ZA DEHIDRIRANI ETILNI ALKOHOL

Datum: 07.09.2016.

Kupac: FAKULTET STROJ. I BRODOGR.-ZAGREB

Serijska: L-5-99

OPASKA : Proizvod je u skladu s
European Pharmacopoeia 6,0

**ETILNI ALKOHOL (99 %)
DEHIDRIRANI (APSOLUTNI)**

OPIS : Bezbojna , bistra, hlapljiva higroskopna i zapaljiva tekućina. Gori plavim
bezdimnim plamenom. Vrelište je oko 78°C.
Bez stranog mirisa.

TOPIVOST : Mješa se s vodom i metilkloridom.
BISTROĆA : S vodom daje bistru otopinu.
IDENTIFIKACIJA.: Daje reakciju

		SPECIFICIRANE VRIJEDNOSTI	TIPIČNA ANALIZA
SADRŽAJ ETANOLA, 20°C	% (V/V)	99,51 min.	99,98
RELATIVNA GUSTOĆA, $d_{20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}}$		0,790 - 0793	0,7908
GUSTOĆA, $p_{20^{\circ}\text{C}}$	kg/m ³	789,3 - 792,8	789,43
VODA, K. FISCHER	% (m/m)	0,20 max.	0,02
KISELOST ILI ALKALNOST		< 1,0 ml 0.01 MNaOH	< 1,0
APSORBANCIJA :	240 nm	< 0,40	< 0,40
	250 - 260 nm	< 0,30	< 0,30
	270 - 340 nm	< 0,10	< 0,10
METANOL	ppm (V/V)	< 200	25
ALDEHIDI (acetaldehyd + acetal)	ppm (V/V)	< 10	5
BENZEN	ppm (V/V)	< 2	0
UKUPNE OSTALE NEČISTOĆE	ppm (V/V)	< 300	10
REDUCIRAJUĆE TVARI, 15°C	minute	20 min.	20
NEHLAPIVI OSTATAK ili	ppm (m/V)	25 max.	5
ISPARNI OSTATAK	%	<0,2	

Zemlja podrijetla: EU

NIJE ZA PREHRAMBENU UPOTREBU!

Analitičar:
Radmila Topić

Direktor:
ETIL PROMET d.o.o.
Tomislav Čuček
Zagreb

Društvo je upisano u sudski registar Trgovačkog suda u Zagrebu pod brojem MBS: 080807186, temeljni kapital 20.000,00 HRK uplaćen u cijelosti, račun se vodi kod Zagrebačke banke u Zagrebu, uprava Tomislav Čuček.